

Geomethodica	= Veröff. 16. BGC	16	Basel 1991	S. 53 - 92
--------------	-------------------	----	------------	------------

PALÄOKLIMA UND RELIEFENTWICKLUNG DER NAMIBWÜSTE IM ÜBERREGIONALEN VERGLEICH

KLAUS HEINE
Regensburg

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	54
Summary	54
Résumé	55
1. Einleitung	56
2. Die Namib	56
2.1 Känozoische Klimageschichte	56
2.2 Känozoische Reliefentwicklung	58
2.3 Paläoklima und Reliefentwicklung – Zwischenbilanz	60
3. Altersbestimmungen	61
3.1 Meeresspiegelhochstände	61
3.2 Höhlensinter	62
3.3 Kalkkrusten	66
3.4 Namib-Pfannen-Sedimente	66
3.5 Dünensande	68
3.6 Diskussion der chronostratigraphischen Befunde	68
4. Diskussion der terrestrischen Befunde vor dem Hintergrund der marinen Befunde	70
5. Zum Alter pleistozäner Feuchtphasen	73
5.1 Die Namib	73
5.2 Afrika	75
6. Abschließende Bemerkungen	76
Danksagung	77
Literatur	77
Diskussion	86
Angaben über den Autor	92

SCHLÜSSELWÖRTER: Namibwüste – Paläoklima – Reliefentwicklung – absolute Altersbestimmungen

ZUSAMMENFASSUNG: Seit dem ausgehenden Miozän (ca. 6-5 Ma) ist die Namib-Wüste \pm arid. Seit dieser Zeit sind auch im südwestafrikanischen Hochland Klimaverhältnisse ausgebildet, die den pleistozänen Bedingungen ähneln. Der Benguela-Strom, der seit etwa 6-5 Ma seine Position mit geringen nordwärtigen Verschiebungen während der Kaltzeiten innehat, und dessen Sedimente die rhythmischen plio/pleistozänen Frequenzen (100 ka, 40 ka, 23 ka) erkennen lassen, bestimmt seit 6-5 Ma das Klima der Namib. Die im Benguela-Strombereich belegten rhythmischen Klimaschwankungen werden nicht auf die angrenzende Namib übertragen. Die pleistozänen Klimaschwankungen (Kalt- und Warmzeiten) sind im südwestafrikanischen Hochland vermutlich nur relativ schwach ausgebildet (im Vergleich zur östlichen Kalahari, zu Ostafrika oder zum Kapland).

U/Th-Altersbestimmungen von Höhlen-Sintern der Namib deuten auf hygrische Schwankungen, die sich zur Zeit jedoch nicht genauer datieren lassen. ^{14}C - und TL-Altersbestimmungen in Verbindung mit den U/Th-Daten lassen vermuten, daß zwischen ca. 50 und 20 ka keine pluviale Phase, sondern nur eine geringe Zunahme der Humidität auftritt; nur an der Pleistozän/Holozän-Wende ist eine schwache Feuchtphase in der Namib nachgewiesen. Vergleiche der Ergebnisse mit Befunden aus anderen Regionen (z.B. Sahara) führen zur Frage, inwieweit die pluviale Phase des Sauerstoffsotopstadiums 3 nicht auf Datierungsfehler (^{14}C) zurückzuführen ist.

Die Reliefentwicklung der ariden Namib reagiert weniger auf die schwach ausgebildeten hygrischen Klimaschwankungen als vielmehr auf Änderungen des durch verschiedene Frequenzen charakterisierten kanozoischen Klimageschehens. Daher eignen sich die Formen und Sedimente der ariden Namib nicht für Paläoklima-Interpretationen.

PALEOCLIMATE AND RELIEF DEVELOPMENT OF THE NAMIB DESERT IN COMPARISON WITH OTHER REGIONS

KEY WORDS: Namib desert – paleoclimate – relief development – absolute age determinations.

SUMMARY: Since the upper Miocene (ca 6-5 Ma) the Namib desert has been more or less arid. Since that time the southwest African highland has also been characterized by climatic conditions that are similar to Pleistocene conditions. The Benguela Current which since about 6-5 Ma has remained in a position like that of today but with only slightly northward shifts during glacial times, and with sediments that show the rhythmic frequencies of 100 ka, 40 ka, and 23 ka, determines the climate of the Namib since upper Miocene times. The rhythmic climatic fluctuations documented by the sediments of the Benguela Current region have no influence on the adjacent Namib desert. The Pleistocene climatic fluctuations (cold and warm periods) are presumably developed relatively weak in the southwest African highland (compared with the eastern Kalahari, the East African region, and the Cape).

U/Th age determinations of cave sinters of the Namib desert point to hygric fluctuations that cannot be dated yet. ^{14}C and TL age determinations together with U/Th dates show apparently that no pluvial phase existed between about 50 and 20 ka, but only a slight increase in humidity occurred. During the Pleistocene/Holocene transition a slight pluvial phase is documented in the Namib. Comparison of the results with the findings of other regions (e.g. Sahara) leads to the question whether the pluvial phase of the oxygen isotope stage 3 depends on errors in age determinations (^{14}C).

The relief development of the arid Namib reacts less upon little developed hygric fluctuations of the climate than upon modifications of the Cainozoic climate which is characterized by different frequencies. Therefore, the geomorphic forms and sediments of the arid Namib are not suitable for paleoclimatic interpretations.

PALEOCLIMAT ET EVOLUTION DU RELIEF DU DESERT DU NAMIB EN COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS

MOTS CLÉS: Désert du Namib – paléoclimat – évolution du relief – détermination du âge absolu

RÉSUMÉ: Depuis le Miocène terminal (env. 6 - 5 Ma) le désert du Namib est plus ou moins aride. Depuis cette époque des conditions climatiques ressemblant à celles du Pleistocène se sont aussi développées sur les hautes terres du Sud-Ouest africain. Le courant de Benguela, qui occupe sa position depuis environ 6 - 5 Ma avec de faibles déplacements vers le Nord pendant les périodes froides et dont les sédiments permettent de reconnaître les fréquences rythmiques plio/pleistocènes (100 ka, 40 ka, 23 ka), détermine depuis 6 - 5 Ma le climat du Namib. Les rythmes d'oscillations climatiques prouvés dans le domaine du courant de Benguela ne sont pas répercutés sur le désert du Namib adjacent. Les variations climatiques pléistocènes (périodes froides et chaudes) ne se sont, selon toute apparence, que faiblement manifestées sur les hautes terres du Sud-Ouest africain (en comparaison avec le Kalahari oriental, l'Afrique de l'Est et la région du Cap).

Les déterminations d'âges U/Th de dépôts (concrétions) de cavernes indiquent des fluctuations d'humidité, qui ne sont cependant pas datables actuellement de façon précise. Des datations par ^{14}C et TL en relation avec des âges U/Th permettent de supposer qu'aucune période pluviale n'apparaît entre environ 50 et 20 ka, mais seulement une légère augmentation de l'humidité; une faible période humide est prouvée uniquement à la limite Pleistocène/Holocène dans le Namib. Des comparaisons de résultats avec des constatations provenant d'autres régions (par ex. le Sahara) incitent à se demander jusqu'à quel point la phase pluviale du stade 3 de l'isotope d'oxygène n'est pas à attribuer à des erreurs de datation (^{14}C).

L'évolution du relief du Namib aride réagit moins aux variations d'humidité du climat, faiblement exprimées, qu'aux modifications du déroulement climatique pendant le Cénozoïque, caractérisé par différentes fréquences. C'est pourquoi les modelés et les sédiments du Namib aride ne se prêtent pas à des interprétations paléoclimatiques.

1. Einleitung

Im Rahmen der Paläoklimaforschung nehmen die ariden Gebiete der Erde eine besondere Stellung ein. Während marine Bohrkerne (R.W.EMBLEY & J.J.MORLEY 1980) oder Sedimentsequenzen limnischer (Lake Biwa/Japan: S.HORIE 1987) und terrestrischer Ablagerungen (Sabana de Bogotá/Kolumbien: H.HOOGHIEMSTRA 1984, Lößprofile: G.KUKLA & Z.AN 1989) detaillierte Klimarekonstruktionen gestatten (vgl. G.KUKLA 1989), müssen in Wüstengebieten oft geomorphologische Befunde bei der Rekonstruktion von früheren Klimabedingungen herangezogen werden, da es an paläoklimatisch ausdeutbaren Sedimenten mangelt. Paläoklima und Reliefentwicklung sind daher in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten aus ariden Gebieten ausführlich und sowohl in unterschiedlich räumlichen als auch zeitlichen Maßstäben diskutiert worden (R.I.DORN 1988, J.HÖVERMANN 1988, B.B.GABRIEL et al. 1989, J.M.BOWLER & R.J.WASSON 1984). Sollen Oberflächenformen der Wüsten paläoklimatisch gedeutet werden, ist eine möglichst exakte Altersbestimmung der formbildenden Prozesse und Formen erforderlich, wenn die Ergebnisse den heute allgemein anerkannten Vorstellungen der weltweiten quartären Klimageschichte zugeordnet werden sollen. Die Datierung der Paläoklimaindikatoren bereitet bekanntlich oft große Schwierigkeiten. Diese Problematik möchte ich im folgenden am Beispiel der Namib aufgreifen.

2. Die Namib

2.1 Känozoische Klimageschichte

Aus der Namib selbst gibt es keine Sedimentsequenzen, die das gesamte Quartär und jüngere Tertiär umfassen und die paläoklimatisch interpretierbar wären. Unsere Vorstellungen über das Paläoklima der Namib basieren daher auf Beobachtungen vieler, in sich sehr heterogener Einzelbeobachtungen sowie auf Befunden aus angrenzenden Gebieten, z.B. im Kapland und östlichen Südafrika (J.DEACON 1990, J.PARKINGTON 1990), in Botswana und Zimbabwe (T.R.WALKER 1990), vor allem aber in den Südafrika umgebenden Meeren (R.W.EMBLEY & J.J.MORLEY 1980, E.VAN CAMPO et al. 1990).

Der Normalzustand des irdischen Klimas wird nicht durch die Klimageschichte der letzten ca. 10 Ma repräsentiert (J.F.KASTING 1989, LEG 130 shipboard scientific party 1990). Im Känozoikum fand eine allgemeine thermische Klimaverschlechterung statt, die nicht gleichmäßig erfolgte, sondern durch einige markante Sprünge gekennzeichnet wird (Eozän/Oligozän-Wende, Miozän, End-Miozän, vgl. Abb. 1). Mit der Bildung des Isthmus von Panama und der Ausdehnung des antarktischen Meereises (3-2,5 Ma) wird das Eiszeitalter angekündigt, das wiederum um 0,9 Ma relativ sprunghaft zu dem durch ausgeprägte Glazial- und Interglazialzeiten charakterisierten Klima übergeht (K.A.MAASCH 1988).

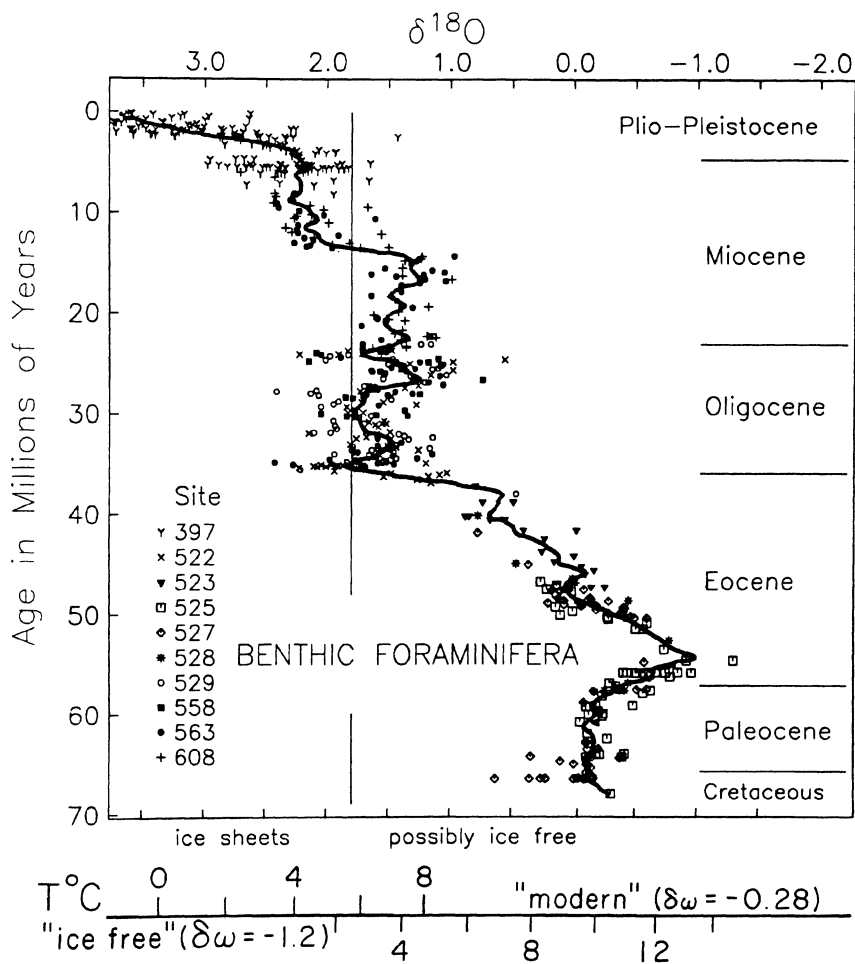


Abb. 1: Sauerstoffsisotopenkurven (benthische Foraminiferen) für atlantische DSDP-Kerne. Die vertikale Linie ist durch 1,8 o/oo $\delta^{18}O$ gezogen; größere Werte weisen auf die Existenz von großen Eisschilden. Die untere Temperaturskala setzt keine größeren Eisschilde voraus, die obere Temperaturskala geht von einem Eisvolumen aus, das dem gegenwärtigen gleicht. Nach K.G.MILLER et al. (1987).

Benthic foraminiferal oxygen isotope record for Atlantic DSDP sites. The vertical line is drawn through 1.8 o/oo $\delta^{18}O$; values greater than this suggest the existence of large ice sheets. The lower temperature scale assumes no significant ice sheets; the upper scale assumes ice volume equivalent to modern values (from K.G.MILLER et al. 1987).

Die letzten ca. 3 Ma dokumentieren eine auffällige Periodizität der Klimaschwankungen. Aus zahlreichen Untersuchungen geht hervor, daß vor über 2,5 Ma eine Periodizität mit einer Frequenz von vermutlich etwa 23 ka besteht; zwischen ca. 2,5 und ca. 0,9 (0,75) Ma zeigt die Frequenz 41 ka und seither etwa 100 (95) ka (K.HEINE 1990a). Die Zyklen mit verschiedener Frequenz der Klimaschwankungen sind weltweit nachweisbar. Marine Bohrkern vor der Küste Südwest-Afrikas belegen diese rhythmischen Klimaschwankungen durch $\delta^{18}\text{O}$ -, CaCO_3 -, SST-Werte und die Verhältniswerte bestimmter milieu-anzeigender Mikroorganismen sowie durch die Periodizität der Anteile terrestrischer Sedimente, die fluvial und äolisch vom süd- und südwestafrikanischen Festland in den Atlantik transportiert wurden (L.DIESTER-HAASS et al. 1986, L.DIESTER-HAASS & P.ROTHE 1987, R.W.EMBLEY & J.J.MORLEY 1980).

Während die sedimentologischen Befunde der marinen Sedimente zwar ein im ganzen arides Klima seit dem Miozän für die Namib belegen sowie die Existenz des die Aridität der Namib bedingenden Benguela-Stromes, nimmt J.D.WARD (1988a) aufgrund der paläoklimatischen Interpretation der früh- bis mitteltertiären Tsonab-Sandstein-Formation für die Namib ein arides Klima seit dem frühen Tertiär an. Auch das Zirkulationssystem soll im Früh- und Mitteltertiär dem quartären vergleichbar gewesen sein (J.D.WARD 1988a). Palynologische Studien an marinen Bohrkernen (E.M.VAN ZINDEREN BAKKER 1984, E.M.VAN ZINDEREN BAKKER & J.H.MERCER 1986) bezeugen sehr aride Bedingungen in der küstennahen Namib mindestens seit mio-/pliozäner Zeit. In der Namib wird die auffällige Periodizität der spätkänozoischen Klimaschwankungen nicht durch Sediment- und/oder Formensequenzen widergespiegelt.

2.2 Känozoische Reliefentwicklung

Mit dem Aufbrechen Gondwanalands in der Unter-Kreide geht die Aufwölbung der südwestafrikanischen Randschwelle einher (vgl. M.A.SUMMERFIELD 1988; G.KING & M.ELLIS 1990); Fission-track-Datierungen bezeugen die Erosion von mehreren Kilometern im Aufwölbungsbereich bereits in jurassischer Zeit (K.G.COX 1989); den Beginn der Ausbildung der Großen Randstufe datieren T.C.PARTRIDGE & R.R.MAUD (1987) daher in spätjurassische/frühkretazische Zeit. Die Achse der randlichen Aufwölbung wandert in Abhängigkeit von dem Zurückweichen der Großen Randstufe landeinwärts (A.R.GILCHRIST & M.A.SUMMERFIELD 1990). Im stark denudierten Bereich zwischen Atlantik und Großer Randstufe erfolgte die prä-Tsonab-Sandstein-Flächenbildung nach J.D.WARD (1987) bis zum Paläozän, nach T.C.PARTRIDGE & R.R.MAUD (1987) bis zum frühen Miozän (Abb. 2). Für die Namib nimmt H.MARTIN (1973) recht stabile Verhältnisse während des Tertiärs an und schließt stärkere Hebungen und Verbiegungen aus (vgl. dazu auch K.HÜSER 1989).

Die Bildung der Namib 'unconformity surface' (C.D.OLLIER 1977, 1978) wurde im Bereich des Kuiseb (J.D.WARD 1987) und des Tumas (M.J.WILKINSON 1988) sowie südlich des Swakop (J.W.O.HARTLEB 1988) von Sedimentphasen, welche die ältesten Entwässerungsbahnen auskleiden, abgelöst. Die tertiären Sedimente weisen auf aride Verhältnisse zur Zeit der Akkumulation hin. Die Bildung mächtiger Calcretes beendete im End-Miozän diese arid-fluvialen Akkumulationen. Mit der mio-pliozänen Calcretebildung wurde die Landoberfläche versiegelt ('Tsondab planation surface' nach C.D.OLLIER 1977, 'Post-African cycle of erosion' nach T.C.PARTRIDGE & R.R.MAUD 1987), die seit der pliozänen Heraushebung entlang der Flußläufe einer zum Teil recht starken Tal- und Schluchtbildung unterliegt. Während dieser plio-pleistozänen Talbildung wurde im Kuiseb-Tal nur wenige Male akkumuliert, nämlich zur Zeit der Oswater-Konglomerate-Bildung (Früh-Mittelpleistozän: J.D.WARD 1987; Plio-Altpleistozän: J.D.WARD 1988b), der Homeb-Silt-Akkumulation (23-19 ka: J.C.VOGEL 1982) und der Gobabeb-Geröll-Sedimentation (J.D.WARD 1987). Allein die Oswater-Konglomerate weisen eine größere Verbreitung auf und bilden eine deutlich sichtbare Terrasse entlang des Kuiseb-Flusses (J.D.WARD 1988b). Die Homeb-Silte werden als Rivier-End-Sedimente gedeutet (K.HEINE 1987a, J.C.VOGEL 1982), die weder in Bezug zu den Klimabedingungen der Namibwüste noch zu der Erosionsbasis (Meeresspiegel) stehen. Die Gobabeb-Gerölle, die mit ähnlichen Schottervorkommen end-pleistozäner Entstehung aus anderen Namibtälern korreliert werden (H.KORN & H.MARTIN 1957, J.D.WARD 1987), sind hinsichtlich ihrer Mächtigkeit und Verbreitung nicht von geomorphologischer Bedeutung. Die seit dem Pliozän andauernde und nur von wenigen Akkumulationsphasen unterbrochene Talbildungszeit ist nicht die Folge einer durchgreifenden klimatischen Veränderung im jüngsten Tertiär, auch sind die Akkumulationsphasen des Quartärs nicht unmittelbar durch Klimaänderungen gesteuert worden.

2.3 Paläoklima und Reliefentwicklung – Zwischenbilanz

Sedimente und Morphodynamik (Formengemeinschaften) der Namib lassen sich einem ariden Klimasystem zuordnen; sie sind an das Klima angepaßte, aride Formengemeinschaften (vgl. J.HÖVERMANN 1985). Wegen der ungenauen zeitlichen Stellung der tertiären Sedimente und Calcretes wie auch der früh- und mittelpleistozänen Schotterterrassen können keine Korrelationen zwischen der Reliefentwicklung der Namib und dem Paläoklima, wie es sich aus den marinen südostatlantischen Bohrkernen und benachbarten terrestrischen Befunden (z.B. J.A.COETZEE 1978) ableiten läßt, vorgenommen werden. Die ariden Formengemeinschaften der Namib dokumentieren im Känozoikum Phasen mit Flächenbildung und Phasen der Zertalung. Zwischen diesen beiden Phasen oder Zyklen sind relativ kurzfristige Abschnitte eingeschaltet, während derer eine Neuorientierung des ariden morphodynamischen Systems stattfand, wobei die mittel- und jungquartäre Morphodynamik einem Zyklus zugeordnet wird (vgl. K.HEINE 1990a).

Damit spiegelt die langfristige Entwicklung der geomorphologischen Formung der Namib die offensichtlichen Frequenzen nicht wider, die in den klimasensitiven marinen und terrestrischen Sedimenten dokumentiert werden. Vielmehr scheinen die Oberflächenformen der Namib auf Phasen hinzuweisen, in denen eine Anpassung an die verschiedenen Frequenz-Zyklen erfolgt. Die Oswater-Konglomerat-Terrasse fällt mit dem Übergang von dem 41 ka-Zyklus (älter als 0,75 bis 0,9 Ma) zu dem 100 ka-Zyklus (jünger als 0,75 bis 0,9 Ma) zusammen; das Einsetzen der pliozänen Zertalung beginnt mit der Ausbildung des 41 ka-Zyklus vor rund 2,5 Ma. Das daraus entstehende Muster der Landschaftsentwicklung schließt Elemente der Reliefpersistenz, der Stagnation der Reliefformung, Übergangsformen etc. ein. In der Namib scheinen die Phasen der Entwicklung der Oberflächenformen eher das Ergebnis physikalischer Modelle als von Klimaschwankungen zu sein. Dabei können kleine Phasen vom Klima beeinflusst werden, die großen Phasen aber sind system- bzw. theorieabhängig (vgl. K.HEINE 1990a). Für die geomorphodynamischen Systeme der Namib scheinen die Übergänge zwischen den einzelnen Frequenzzyklen (im Plio/Pleistozän) bzw. den verschiedenen paläoökologischen Konstellationen (im Tertiär, s. Abb. 1) von außerordentlicher Bedeutung zu sein.

3. Altersbestimmungen

Aus dem zuvor Gesagten wird deutlich, daß alle diese Fragen nur befriedigend behandelt werden können, wenn es gelingt, die Zeugen der Reliefentwicklung mehr oder weniger genau zu datieren. Damit stellt sich uns das Problem der Altersbestimmung von Sedimenten, Formen, Böden etc. in ariden Gebieten. Anhand einiger Beispiele möchte ich diesen Fragenkreis – auf die Namib-Wüste bezogen – aufgreifen. Hier soll nur das Jungquartär behandelt werden, da die zur Zeit vorliegenden Datierungen eine Einbeziehung älterer Sedimente, Formen und Böden nicht zulassen (vgl. T.C.PARTRIDGE et al. 1984, U.RUST 1989).

3.1 Meeresspiegelhochstände

Eustatische Meeresspiegelschwankungen bildeten an der Namibküste mehrere marine Terrassen aus (siehe u.a. F.WIENEKE 1975); der letzte prä-Holozän-Hochstand wurde auf ca. 26 ka datiert (F.WIENEKE & U.RUST 1975). Dieser Hochstand (etwa + 2 m über dem rezenten "storm tide level") wird durch einen Strandwall dokumentiert, der sich von Swakopmund bis zur Skelettküste verfolgen läßt. Ca. 1 km südlich der Terrace Bay Diamond Mine habe ich die Sedimente dieses Strandwalls untersucht und für Mollusken ein ^{14}C -Alter von 25.460 ± 425 BP (Hv 9491) erhalten. Die geomorphologischen Befunde, vor allem aber die Gipsanreicherungen (vgl. U.RUST 1979) und der Verwitterungsgrad der

Gerölle belegen ein höheres Alter und deuten auf Probleme bei der ^{14}C -Altersbestimmung dieser Ablagerungen. Ein innerwürmeiszeitlicher Meeresspiegelhochstand darf für die Namibküste nicht postuliert werden (K.HEINE 1982).

Daher dürfen Modelle der Reliefentwicklung für die Namib, wenn sie für Paläoklimaaussagen herangezogen werden sollen, nicht mit den fossilen 2 m-Strandwällen in Beziehung gesetzt werden. Kaltzeitliche (letzte Eiszeit) Vorgänge und Formen, die mit der 2 m-Terrasse korreliert werden (u.a. F.WIENEKE 1975, F.WIENEKE & U.RUST 1975, 1976), müssen sehr wahrscheinlich dem Sauerstoffisotopenstadium 5e (Eem-Warmzeit) zugeordnet werden.

3.2 Höhlensinter

In der zentralen Namib existieren verschiedene Höhlen in Dolomitgesteinen. Die Rössing-Höhle befindet sich im westlichen Vorfeld der Rössingberge, ca. 30 km von der Atlantikküste entfernt. Die zweite von mir untersuchte Höhle liegt ca. 70 km landeinwärts im Gebiet der Tinkas-Flakte. In beiden Höhlen sind Sinter-Bildungen anzutreffen. Beide Höhlen liegen im Bereich von – im ariden Klima – morphologisch widerständigen, kalkhaltigen Gesteinen, die Rippen in der Landschaft bilden. Daher kann nur das örtliche Niederschlagswasser für die Sinterbildungen der Höhlen verantwortlich sein. Die Höhlensinter dokumentieren somit feuchtere Verhältnisse in unmittelbarer Umgebung der Höhlen, d.h. in der küstennahen zentralen Namib (Rössing-Höhle) und der Randstufen-nahen Namib (Tinkas-Höhle).

Die ersten von mir publizierten ^{14}C -Daten der Rössing-Höhlen-Sinter liegen zwischen 26,5 und 29,5 ka (K.HEINE 1982). Eine erweiterte Untersuchung ergab für Flowstone-Bildungen eine Altersabfolge zwischen ca. 26 und 40 ka. Der jüngste Flowstone ist dreigeteilt und wird von Sandlagen, die in die Höhle eingeweht worden sind, gegliedert. Aufgrund der Daten und der sedimentologischen Merkmale wurde für die Sinterentstehung ein feuchteres Wüstenklima zwischen ca. 40 und 34 ka angenommen, zwischen 34 und 27 ka ein mehrfacher Wechsel zwischen feuchteren und windigen/trockeneren Verhältnissen, zwischen 27 und 25 ka nochmals feuchtere Bedingungen und seither (< 25 ka) aride Verhältnisse, die mit den rezenten vergleichbar sind (K.HEINE & M.A.GEYH 1984).

Auch in der Tinkas-Höhle wurden Sinter ^{14}C -datiert. Die Alter liegen zwischen 34 bis 49 ka (K.HEINE 1987a) (Abb. 3). Doch die ^{14}C -Alter überzeugen nicht. Zwar ergaben die ^{14}C -Alter der Sinter durchaus vernünftige chronologische Abfolgen; die daraus abzuleitenden Niederschlagshöhen für die zentrale, heute extrem-aride Namib erscheinen jedoch unrealistisch, da aufgrund der geomorphologischen Verhältnisse ein Sinterwachstum nur durch Niederschläge zu erklären ist, die unmittelbar auf die Dolomitrippen fallen, in denen die

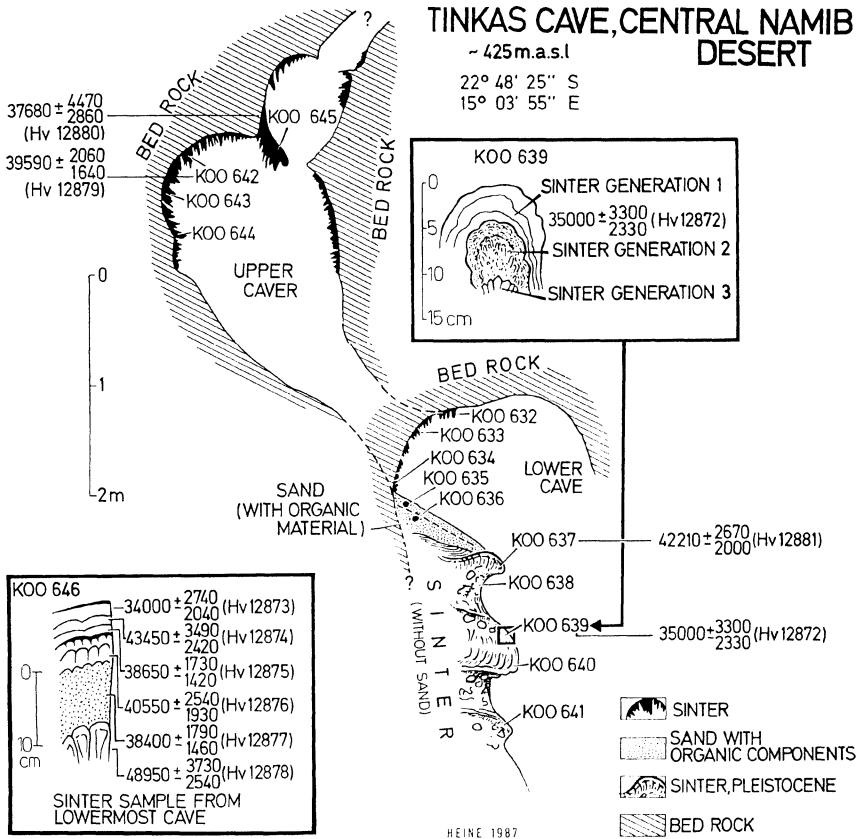


Abb. 3: Tinkas-Höhle. Radiocarbon-Alter.
 Tinkas Cave, Radiocarbon ages.

Höhlen angelegt sind. Eine Herkunft des für die Sinterbildung benötigten Wassers von entfernten Gebieten oder als Folge von sich sammelndem Oberflächenwasser auf der Namibfläche ist ausgeschlossen.

Sollten die Sinter, deren ^{14}C -Alter zwischen ca. 25 ka und über 49 ka liegen, in der Tat diese Alter aufweisen, so hätten sie als bisher einzigste zuverlässige Beweise für eine Feuchtphase während des Sauerstoffisotopenstadiums 3 in der Namib angesehen werden müssen.

Während der Feldarbeiten 1988 konnten in den Höhlen weitere Proben gewonnen werden, die für spezielle Altersbestimmungen verwendet wurden. Zum einen wurde ein Stalagmit mittels ^{14}C und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ parallel datiert (Tab. 1), zum anderen wurden für TL-Datierungen Proben aus Sanden entnommen, die in die Höhlen eingeweht wurden.

Die ^{14}C -Aktivitäten der Stalagmiten-Proben sind so klein, daß daraus nur ^{14}C -Maximalalter berechnet werden können. Auch die $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnisse liefern – mit Ausnahme der Probe von der Spitze – $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Maximalalter. Es ist jedoch möglich, daß auch die scheinbar jüngste Probe älter als 350 ka ist, da eine postsedimentäre Uranaufnahme von 1 - 2 % ausreicht, um zu einem endlichen Alter von ca. 350 ka zu führen. Der datierte Stalagmit weist aufgrund der ^{14}C - und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Datierungen ein Alter von über 350 ka auf.

Paralldatierungen (^{14}C und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) an anderen Sinterbildungen der Rössing-Höhle ergeben bei endlichen ^{14}C -Altern wesentlich höhere $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Alter (Tab. 1). Aufgrund vorsichtiger Interpretation der Analysendaten darf im Isotopenstadium 6 mit einer geringmächtigen Sinterbildung (Flowstone) gerechnet werden (Proben K00 613 und 616, Tab. 1). Die ^{14}C -Alter von 26,8 ka und 33,6 ka zeigen, daß die Sinter auch lange nach der Sedimentation von jungem bikarbonat-haltigem Tropfwasser durchsetzt worden sind. Die Proben K00 613 und 616 sind die jüngsten Sinterbildungen der Rössing-Höhle. Sie dokumentieren somit aride Klimabedingungen mindestens seit der vorletzten Kaltzeit. Die ^{14}C -Daten sind Zeugen von Tropfwasser, d.h. sie dokumentieren entweder episodische Niederschlagsereignisse oder aber eine (oder mehrere) Phasen leicht verstärkter Niederschlagstätigkeit im jüngsten Quartär in der heute extrem ariden zentralen Namib.

Die Proben K00 621 und 622 (Stalagtitenvorhang und Cave popcorn) (Tab. 1) sind älter als rd. 350 ka; aufgrund des radioaktiven Gleichgewichts der Uranisotope ^{234}U und ^{238}U als auch des ^{230}Th kommt ein wesentlich höheres Alter (> 1 Ma) in Betracht. Die ^{14}C und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Alter von Sintern aus der Tinkas-Höhle zeigen ähnliche Resultate (Tab. 1). Die $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Alter scheinen wesentlich höher zu sein als die ermittelten Werte, da die Proben sich im radioaktiven Gleichgewicht befinden. Die ^{14}C -Alter erklären sich aus einem geringen Tropfwassereinfluß; sie sagen daher nichts über das Alter der kompakten Sinterbildung aus, die auf > 1 Ma geschätzt wird.

Die Funde von ESA-Artefakten vom Acheul-Typ (vgl. M.SHACKLEY 1982), von MSA-Artefakten sowie die Ausbildung einer Gipskruste (vgl. U.RUST 1979) in unmittelbarer Nachbarschaft des Höhleneingangs weisen auf fehlende fluviale geomorphodynamische Prozesse und damit auf eine lange Aridität.

Die Höhlensande der Rössing-Höhle, die zum Teil den Flowstones zwischengelagert sind (vgl. K.HEINE & M.A.GEYH 1984) und die seit ihrer Einwehung unter Lichtabschluß waren und daher für TL-Altersbestimmungen geeignet erscheinen, wurden ebenfalls datiert.

	Sample K00	a BP ^{14}C	ka BP $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$		vermutetes Alter
Tinkas cave	639	35000+3300-2330 Hv 12 872	> 266 Uh 213	cave sinter	} > 1 Mill. a
	646-1	34000+2740-2040 Hv 12 873	> 307 Uh 214		
	646-2	43450+3490-2420 Hv 12 874	337+104-51 Uh 215		
	646-3	38650+1730-1420 Hv 12 875	> 318 Uh 216		
	646-4	40550+2540-1930 Hv 12 876	278+48-33 Uh 217		
	646-5	38400+1790-1460 Hv 12 877	224+13-11 Uh 218		
	646-6	48950+3730-2540 Hv 12 878	- Uh 219		
Rössing cave	613	26780±360 Hv 11 635	158+14-12 Uh 242	flow stone	Riss stage 6
	616	33590+1315-1070 Hv 11 637	199+38-28 Uh 243		
	621	37000±1700 Hv 11 639	> 362 Uh 244	stalagmite curtain	} > 1 Mill. a
	622	41500±1280 Hv 11 640	351+107-52 Uh 245	cave popcorn	
	768-1	> 49000 Hv 15 928	354+83-45 Uh 533	top	} stalagmite > 350 ka
	768-2	47750+4370-2810 Hv 15 929	> 343 Uh 534	3 cm below top	
	768-3	> 49940 Hv 15 930	> 384 Uh 535	4 cm above base	
	768-4	> 48640 Hv 15 931	> 370 Uh 536	base	
SW Kalahari	103	8245±75 (Hv 9884) 30990±490 (Hv 16 107)	172+11-10 Uh 546	calcrete	Riss stage 6

Tabelle 1: ^{14}C - und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Modellalter der Sinter der Namib-Höhlen und einer Calcrete der SW-Kalahari. Analysen: Prof.Dr. M.A.GEYH und Prof.Dr. G.J.HENNIG, Hannover). ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ages of Namib cave sinters and of a SW Kalahari calcrete. Age determination: Prof.Dr. M.A.GEYH and Prof.Dr. G.J.HENNIG, Hannover.

Die TL-Altersbestimmungen sind noch nicht abgeschlossen, doch vorläufige Abschätzungen ergeben für die Höhlensande ein Alter der Einwehung von $\geq 64,3 \pm 5,2$ ka und $\geq 87,5 \pm 6,5$ ka. Damit bestätigen auch die TL-Datierungen das hohe Alter der jüngsten Höhlensinter.

3.3 Kalkkrusten

Recht unbefriedigend sind bisher die ^{14}C -Datierungen der Kalkkrusten (Calcretes) aus der Namib wie auch aus verschiedenen Profilen im südwestafrikanischen Hochland und in der Südwest-Kalahari. Vor allem die ^{14}C -Alter von 33 - 28 ka der Calcretes des Kuiseb-Tales in der zentralen Namib (vgl. J.C. VOGEL 1982, K.HEINE 1988) stehen in keinerlei Zusammenhang mit dem Bildungsalter der Sedimente, in denen die Calcretes auftreten. Die Calcretes der "Tsondab planation surface" (Abb. 2) haben ein jungtertiäres Alter; die Calcretes der Oswater-Terrasse sind mittelpleistozäne (oder ältere) Bildungen.

Im Sesriem Canyon am östlichen Rand des Namib Ergs wurde die Karbonat-Zementation der fluvialen Schotter des höheren, älteren Pediments ^{14}C -datiert (J.C. VOGEL 1983). Die ermittelten Alter liegen zwischen 29 und 40 ka und stehen in keinerlei Beziehung zur Akkumulation der Sedimente; allerdings können sie das Alter der Zementation belegen, doch aufgrund der geomorphologischen Beobachtungen ist die Zementation älter als das jüngere Pediment, das seinerseits vor dem Isotopenstadium 3 ausgebildet wurde (K.HEINE 1987a).

Vergleichende ^{14}C - und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Altersbestimmungen wurden an Calcretes aus der SW-Kalahari vorgenommen, da in dem Gebiet von mir bereits eine Stratigraphie der jungquartären Sedimente erarbeitet worden ist (K.HEINE 1981, K.HEINE 1990b). Die ^{14}C -Alter der Calcretes liegen zwischen 8 und 31 ka, während das $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Alter 157 ka ergab (Tab. 1, K00 103). Aufgrund der geomorphologischen und stratigraphischen Befunde trifft die $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Altersbestimmung im großen und ganzen zu; die ^{14}C -Alter müssen verworfen werden.

3.4 Namib-Pfannen-Sedimente

Die Tsauchab- und Tsondab-Täler führen aus dem Hochland-Randbereich im Osten in den Namib-Erg und bilden Endseen und Pfannen. In den Endsee-Gebieten wurden fluvial-lakustrische Silte und Tone (Pelite) in Wechsellagerung mit Dünenständen (Äolinite) abgelagert (K.HEINE 1987a). Die geomorphologisch-sedimentologischen Untersuchungen deuten auf Wechsel zwischen der äolischen Morphodynamik (Dünen) und der fluvial-limnischen Morphodynamik im Bereich der Kampfzone zwischen dem Endlauf der Riviere

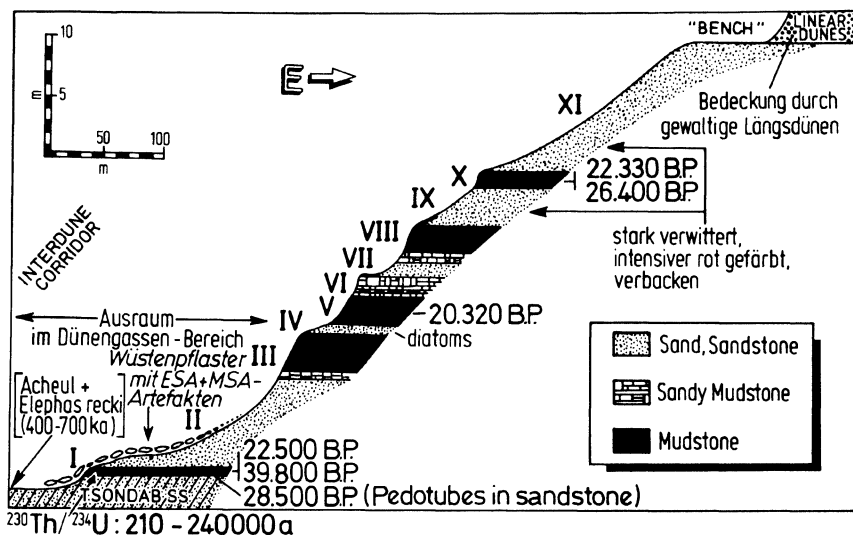


Abb. 4: Schematisches Profil der radiokarbondatierten Pelite von Narabeb (nach J.T.TELLER et al. 1990, ergänzt).

Schematic cross section of the radiocarbon-dated pelites at Narabeb (after J.T.TELLER et al. 1990, with additions by author).

und den gewaltigen Dünensystemen. Es zeichnet sich ab, daß in den Endseen im frühen Holozän (ca. 10 bis 8 ka) und vor über ca. 20 ka Tone sedimentiert wurden, d.h. im Einzugsgebiet der Riviere war es feuchter, und im Namib-Erg waren – legt man die ^{14}C -Daten zugrunde – die äolischen Prozesse abgeschwächt.

Die paläopedologischen Beobachtungen jedoch lassen Zweifel an den Daten um 20 ka aufkommen, denn die datierten Ablagerungen sind fossilen Dünensanden zwischengeschaltet, die intensiv rot gefärbt und relativ stark verbacken sind. Färbung und Verfestigung der Dünensande müssen älter als 20 ka sein, wie aus Vergleichen mit der Verwitterung der großen letzteiszeitlichen Dünenkörper hervorgeht (siehe T.R.WALKER 1979).

Im nördlich gelegenen Tsondabgebiet sind bei Narabeb Endsee-Sedimente aufgeschlossen, die eine über 20 m mächtige Abfolge zeigen (Abb. 4). 6 Radiokarbondaten von J.C.VOGEL & E.VISSER (1981) deuten auf Seebildungen zwischen 20 und 40 ka (J.T.TELLER & N.LANCASTER 1986, J.T.TELLER et al. 1990). Die Lage der großen Längsdünen über dem Profil, die intensive Rotfärbung der fossilen Dünensande und deren Verfestigung sowie die Ausräumung der Sedimente im Bereich der Dünengasse widerlegen aus geomorphologischer Sicht diese radiometrische Alterstellung. Wichtiger noch sind die archäologi-

schen und paläontologischen Befunde: Im Interdune-Korridor liegen Artefakte der ESA und MSA im Verband des Wüstensteinpflasters (M.SEELY & B.H.SANDELOWSKY 1974, M.SHACKLEY 1985); dies ist ein eindeutiger Hinweis auf die lange Abtragungsruhe in diesem Bereich. Der Fund von Elephas recki in einer benachbarten Pfanne mit einem archäologisch ermittelten Alter von ca. 400-700 ka (M.SHACKLEY 1980) belegt ebenfalls äußerst geringe geomorphodynamische Prozesse und führt die ^{14}C -Daten ad absurdum. Ein $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Alter der liegenden Pelite ergab 210-240 ka (M.J.SELBY et al. 1979).

3.5 Dünenande

In den letzten Jahren wird von M. Buch und mir versucht, anhand bodenkundlicher Untersuchungen im Etoscha-Gebiet differenziertere Aussagen über die jungquartäre Landschaftsentwicklung zu erhalten, da die auf ^{14}C -Datierungen basierenden Chronostratigraphien nicht immer befriedigen; dies trifft besonders dann zu, wenn die Formen und Sedimente älter als ca. 20 ka sind und wenn allein Calcretes und Mollusken zur Altersbestimmung herangezogen werden (K.HEINE 1988).

Die Etoscha-Pfanne wird an vielen Stellen von fossilen See-Terrassen begleitet, die schematisch folgendermaßen dargestellt werden können (Abb. 5): Ein Hauptniveau mit mächtiger Calcrete bildet eine markante Terrasse, die zur jüngeren Terrasse abfällt. Im Westen der Etoscha-Pfanne werden die Terrassen von Pfannenrand-Dünen bedeckt, die die Uferlinie nachzeichnen. Die ^{14}C -Alter der Calcrete von ca. 32-28 ka (U.RUST 1985) erschienen aufgrund meiner früheren geomorphologisch-pedologischen Beobachtungen als nicht zutreffend. Die daraufhin begonnenen paläopedologischen Arbeiten zeigen differenzierte Abfolgen der Dünenande mit zwischengeschalteten fossilen Böden. Erste TL-Datierungen der Sande in Verbindung mit ~~^{14}C~~ -Altern von Mollusken und Kalkkonkretionen sowie den fossilen Pedokomplexen belegen eindrucksvoll, daß die ~~^{14}C~~ -Daten nicht das Alter der Calcretes angeben und daher nicht für Rekonstruktionen der Klima- und Landschaftsgeschichte verwendet werden dürfen. Der Okondeka II-Boden hat ein prä-LGM-Alter und der Okondeka III ist prä-letztaltzeitlich. Weitere Paläoböden unter dem Okondeka III-Bodenkomplex sind Belege für das hohe Alter der liegenden Calcrete und die alte Anlage der Etoscha-Pfanne (vgl. M.W.BUCH 1990).

3.6 Diskussion der chronostratigraphischen Befunde

Wenn aufgrund der bisher nur teilweise erarbeiteten TL-Daten und aufgrund der noch nicht umfassend ausgewerteten ^{14}C - und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Altersbestimmungen hier schon eine Würdigung der Ergebnisse vorgenommen werden soll, so muß auf die Vorläufigkeit der Aussagen nachdrücklich verwiesen werden (vgl. auch M.A.GEYH & G.J.HENNIG 1986).

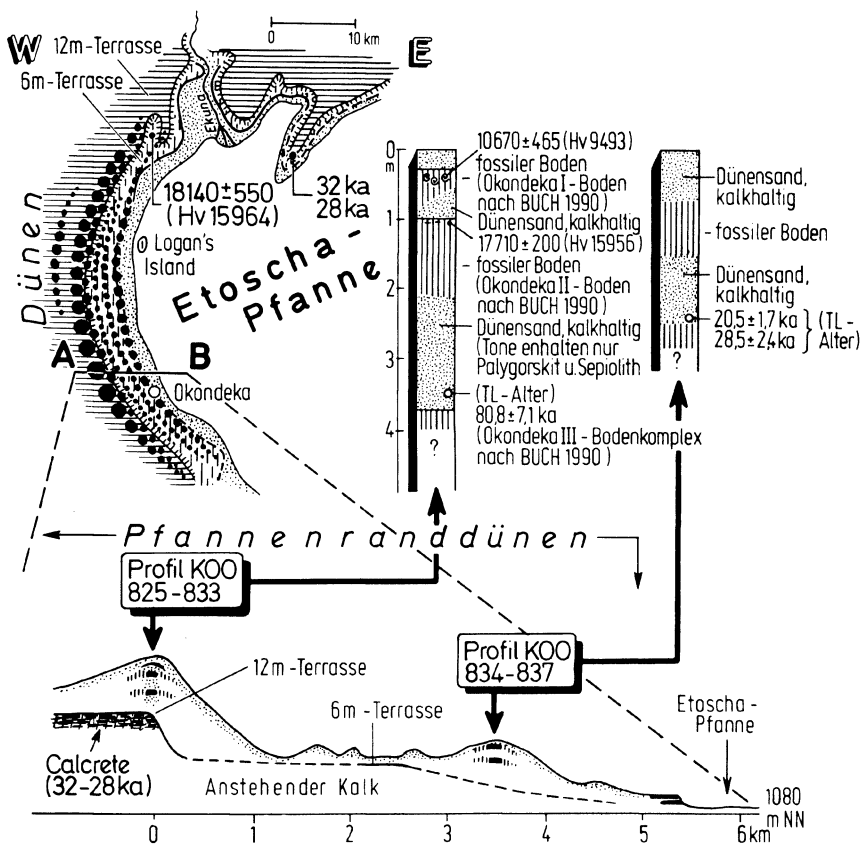


Abb. 5: Schematisches Profil der Pfannenranddünen, Etosha-Pfanne.
Schematic cross section of the pan shore dunes, Etosha pan.

Die Unterschiede der Altersbestimmungen an Höhlensintern und Calcretes (^{14}C -Alter zwischen 50 und 20 ka, $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Alter > 350 ka bzw. 155-185 ka) bestätigen die geomorphologischen Beobachtungen: die Namib weist seit dem Pliozän ein arides Klima auf, und zwar ohne starke hygrische Veränderungen (vgl. K. HEINE 1987a). Nur die jüngsten geringmächtigen Flowstone-Bildungen der Rössinghöhle deuten schwache hygrische Schwankungen an (s. Tab. 1). Calcretes der Namib scheinen nicht auf wesentlich höhere Niederschläge hinzuweisen (400-600 mm/a sind genannt worden), sondern auf eine äußerst lange Zeit der Calcrete-Bildung, die viele Jahrzehntausende oder gar Jahrhunderttausende

umfaßt haben mag. Die Calcrete-Bildung ist von dem äolischen Materialeintrag abhängig, der allein aufgrund der Calcrete-Mächtigkeit im Kuiseb-Bereich einige Jahrhunderttausende gedauert haben muß. Diese zeitlichen Vorstellungen ergänzen geologisch-stratigraphische Befunde (vgl. J.D.WARD 1987 u. 1988a), und stimmen mit Beobachtungen anderer Autoren aus dem ariden Nordamerika überein (z.B. G.M.MARION 1989). Nach der Zusammenstellung von G.M.MARION (1989) ist Calcrete-Bildung auch unter ariden Klimabedingungen möglich, wenn nur genügend Zeit zur Verfügung steht.

Die von mir publizierte Tabelle (K.HEINE 1987a) jungquartärer, paläoklimatisch interpretierbarer Sequenzen der Namib und angrenzender Gebiete kann nun weitergehend interpretiert werden und zwar dahingehend, daß die Indikatoren für feuchtere Klimabedingungen (Calcretes, Sinter, Pelite der Endseen) zum einen nicht in der angegebenen Zeitspanne gebildet wurden und zum anderen nicht wesentlich höhere Niederschläge repräsentieren. Vielmehr ist die Bildung der Sinter möglicherweise präquartär und die Bildung der Calcretes über einen Zeitraum von vielen 100 ka erfolgt; unbedeutende hygrische Schwankungen, die die im ganzen ariden/extrem-ariden Bedingungen der Namib nicht wesentlich beeinflussen konnten, können zu einer Rekristallisation des Kalzits geführt haben, wodurch die ^{14}C -Alter von 50 bis 20 ka erklärt würden (vgl. M.A.GEYH & G.J.HENNIG 1986). Ob diese Rekristallisation im Sauerstoffisotopen-Stadium 3 (zwischen 50 und 20 ka) erfolgte, ist zu vermuten, doch nicht gesichert. Die Vermutung stützt sich auf archäologische Befunde aus der Namib sowie auf zahlreiche stratigraphische Beobachtungen aus dem südlichen Afrika und überregionale Korrelationen (vgl. K.HEINE 1988).

4. Diskussion der terrestrischen Befunde vor dem Hintergrund der marinen Befunde

Die geomorphologisch-sedimentologisch-pedologischen Befunde belegen für das Tertiär bis zum Miozän warm-feuchte tropische Klimaverhältnisse in Südafrika, Nord- und Nordost-Namibia und auch – jedoch vermutlich stärker semihumid geprägt – im namibianischen Hochland. Die Beobachtungen werden durch die marinen Befunde ergänzt; aufgrund der Kaolinitanteile in atlantischen Sedimenten (C.ROBERT & H.CHAMLEY 1986), der Karbonatlösung (L.DIESTER-HAASS 1988) sowie anderer mariner Befunde (u.a. N.J.SHACKLETON et al. 1984; REPORT OF THE COSOD II, 1987) könnte eine aride Dünenbildungsphase ins untere Miozän fallen; danach stellten sich wieder feucht-warme tropische Klimabedingungen im Inneren des nördlichen Südafrikas bis ins Obermiozän ein. Auch scheint die Namib im Obermiozän noch nicht die extrem ariden Klimabedingungen aufzuweisen, denn die Bildung der Höhlen fällt vermutlich in die Endphase der Namib-Rumpfflächenbildung, d.h. in die Zeit der dramatischen Meeresspiegelabsenkung während des Aufbaus des antarktischen Eises und der Messinian Salinity Crisis. Diese Meeresspiegelabsenkung von ca. 70 m bedingte starke Erosionsimpulse in der Namib, die vom Atlantik

ausgingen. Vermutlich führte diese Erosionsphase zusammen mit der Erniedrigung des Vorfluters (Grundwasserspiegel) zur Anlage der Höhlen in der Namib. Auch muß die Erosionsphase das Kaolinit/Illit-Chlorit-Verhältnis in den marinen Sedimenten des Südatlantiks stark beeinflußt haben. Interessant in diesem Zusammenhang ist die begründete Vermutung, daß seit ca. 5,2 Ma der Benguela-Strom die Position einnahm, wie sie auch im Quartär bestand (mit den warm- und kaltzeitlichen Änderungen) (L.DIESTER-HAASS 1988).

Seit dem Obersten Miozän hat sich das Benguela-Strom-System nicht mehr wesentlich verändert (L.DIESTER-HAASS & P.ROTHE 1987), andererseits lassen sich jedoch die rhythmischen Abfolgen der Warm- und Kaltzeiten seit dem Pliozän in den marinen Sedimenten gut nachweisen (L.DIESTER-HAASS et al. 1986). Eine Relieffanalyse der zentralen Namib (K.HEINE 1990a) veranschaulicht, daß die in den marinen Sedimenten vor der südwestafrikanischen Küste nachgewiesenen Klimaschwankungen keinen Einfluß auf das geomorphologische Geschehen hatten. Die zentrale Namib zeigt während des Quartärs eine für Wüsten charakteristische aride Geomorphodynamik (vgl. auch K.HEINE 1987a). Die durch die Höhlensinter angezeigte feuchtere Phase im Isotopenstadium 6 (?) ist nicht sicher chronostratigraphisch bestimmt und läßt sich daher nicht mit marinen Befunden korrelieren (Abb. 6). Aride quartäre Klimabedingungen ohne wesentliche hygrische Schwankungen werden für die Namib auch anhand palynologischer Befunde belegt, die verschiedene marine Bohrkerne betreffen (C.CARATINI & C.TISSOT 1982, E.M.VAN ZINDEREN BAKKER 1984, E.M.VAN ZINDEREN BAKKER & M.MÜLLER 1987). Daraus ergibt sich, daß eine Korrelation von terrestrischen und marinen Sedimentabfolgen (Namib einerseits, Benguela-Strom-Bereich andererseits) nicht a priori möglich ist. In der Namib scheint das geomorphodynamische Geschehen weniger unmittelbar auf Klimarhythmen als vielmehr auf andere Faktoren (Meeresspiegelschwankungen, Umstellung des gesamten Abtragungsgeschehens in Abhängigkeit von Veränderungen der Klimazyklen [Zyklen mit 100 ka-Frequenzen, Zyklen mit 41 ka-Frequenzen etc.]) reagiert zu haben.

Die zwischen ca. 40 und 20 ka ermittelte feuchtere Phase erscheint aufgrund der vorliegenden Untersuchungen in der Namib selbst nur zu graduellen hygrischen Schwankungen im Vergleich zu heute geführt zu haben. Da alle ^{14}C -Daten dieser 'Feuchphase' von Karbonaten stammen (vgl. J.T.TELLER et al. 1988, 1990), ist ein wesentlich höheres Alter der Bildungen nicht auszuschließen, wie die ^{14}C - und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Daten von Höhlen-Sintern der Namib vermuten lassen. Während des Isotopenstadiums 3 (vor > 30 ka) deuten lediglich MSA-Funde auf etwas günstigere hygrische Bedingungen. Auch die marinen Befunde sprechen gegen eine starke Zunahme der Niederschläge während der Zeit 40-20 ka, denn für diese Phase ist – wie auch während des LGM – ein verstärkter äolischer Sedimenteintrag von der Namib zum Atlantik festzustellen. Die im Bohrkern PC 16 aufgefundenen Pflanzenreste mit einem Alter von > 27 ka (L.DIESTER-HAASS et al. 1988) können – solange sie nicht bestimmten Pflanzenarten zugeschrieben worden sind – nicht als Beweise für wesentlich höhere Niederschläge angeführt werden. Ein großer Teil der zentralen Namib

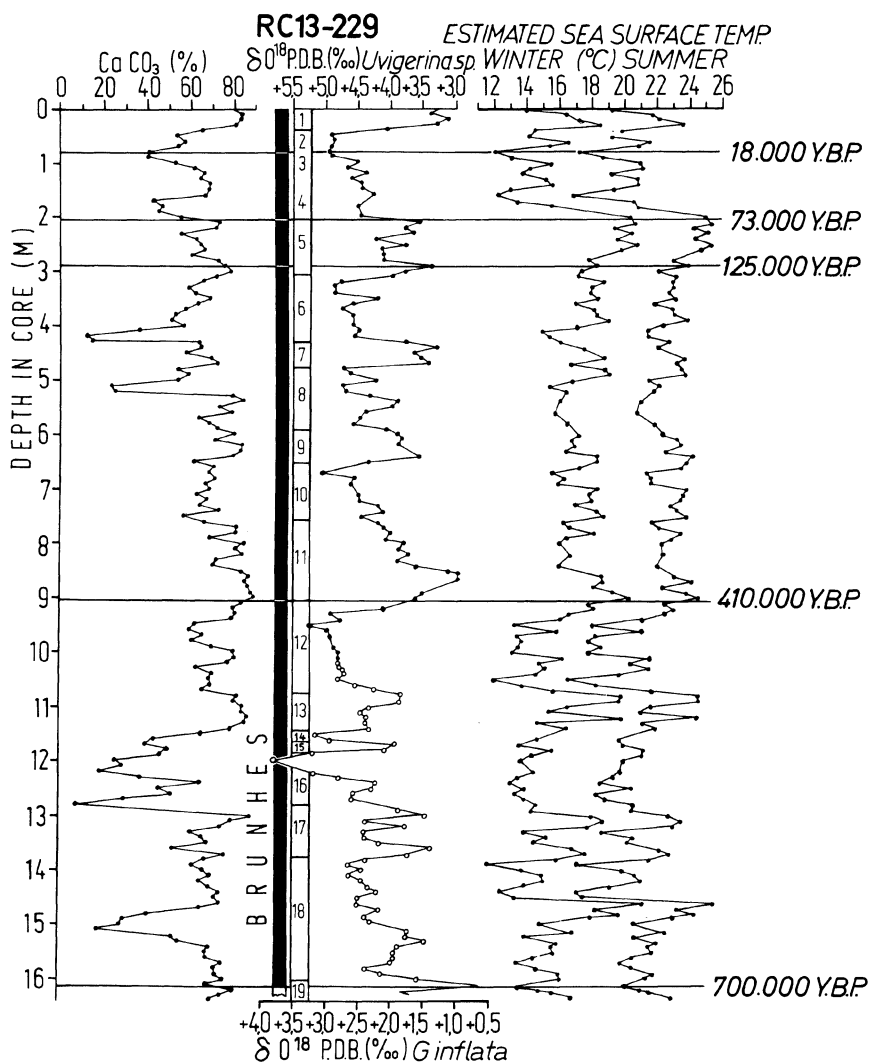


Abb. 6: Karbonat-, Isotopen- und Paläotemperaturkurven für Bohrkern RC13-229 (nach R.W.EMBLEY & J.J.MORLEY 1980).
Carbonate, isotopic and paleotemperature curves for piston core RC13-229 (after R.W.EMBLEY & J.J.MORLEY 1980).

ist unter heutigen extrem ariden Bedingungen von Flechten bedeckt (D.C.J.WESSELS & D.R.J.VAN VUUREN 1986); auch im Stadium 3 könnten Flechten das Material der im Kern PC 16 gefundenen Pflanzenreste sein.

Allein an der Pleistozän/Holozän-Wende sind Indikatoren für geringfügig höhere Niederschläge zweifelsfrei in der zentralen Namib belegt. Diese schwachen hygrischen Schwankungen werden in den marinen Sedimenten jedoch nicht dokumentiert.

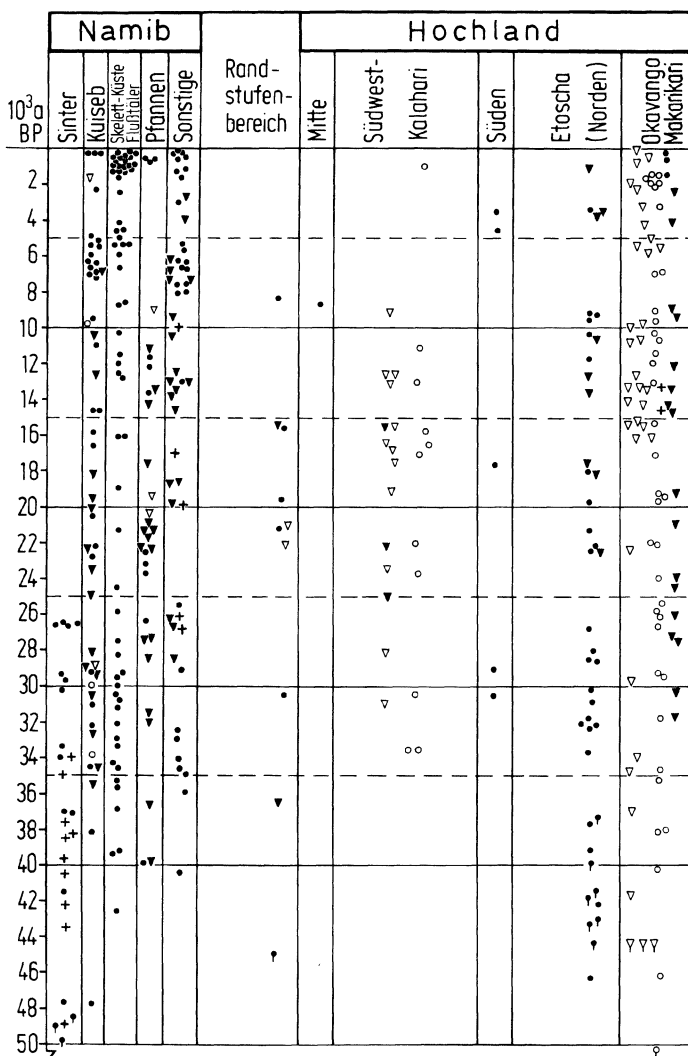
5. Zum Alter spätpleistozäner Feuchtphasen

5.1 Die Namib

An verschiedenen Beispielen wurde dargestellt, daß die ^{14}C -Datierungen Alter ergaben, die nicht mit den geomorphologischen, sedimentologischen und paläopedologischen Beobachtungen übereinstimmen. Da aber gerade die zeitliche Stellung von besonderer Bedeutung ist – will man die Ergebnisse klimamorphologisch interpretieren –, so muß diesem Fragenkreis besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (vgl. auch U.RUST 1989).

Für die Namib und angrenzende Gebiete habe ich in Abb. 7 ^{14}C -Daten zusammengestellt. Die Zuverlässigkeit hinsichtlich der Datierung des Materials, das aufgrund seiner geomorphologischen, sedimentologischen und pedologischen Eigenschaften paläoklimatisch interpretiert und chronostratigraphisch eingeordnet wird, ist für die Daten sehr unterschiedlich. Würden alle unsicheren Datierungen aus dem Diagramm entfernt, dann verbleiben nur Daten, die jünger als 25 ka sind. Mit anderen Worten: Die sogenannte Feuchtphase im Isotopenstadium 3 ist in der Namib und dem südwestafrikanischen Hochland nicht eindeutig durch zuverlässige Datierungen bestätigt. Die Mudstones aus den Endseen in dem Namib-Erg bezeugen einerseits eine geringe Feuchtigkeitszunahme an der Pleistozän/Holozän-Wende, andererseits eine wesentlich ältere Feuchtphase, die auf jeden Fall älter als die durch ^{14}C -Daten ermittelten 30-20 ka sind. Auch die Altersbestimmungen der Calcretes sind nicht aussagefähig. Die Vergleichsuntersuchungen an Höhlensintern zeigen, daß große Diskrepanzen zwischen den ^{14}C - und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Daten bestehen können. Erste TL-Datierungen an Höhlensanden, die in die Höhlen eingeweht wurden, bestätigen die wesentlich höheren Alter, als sie durch die ^{14}C -Daten vorgegeben werden.

Für eine Feuchtphase im Isotopenstadium 3 gibt es in der Namib keine zweifelsfreien Zeugen. Die Zeit vor 25 ka war vermutlich geringfügig feuchter, wie aus dem Tiefseebohrkern PC 16, den archäologischen und paläopedologischen Befunden hervorgeht. Diese hygrischen Schwankungen waren aber nur von untergeordneter Bedeutung, d.h. in der ariden Namib war es auch während der "feuchteren Phasen" arid.



Sinter: • Rössing cave: HEINE 1987a, + Tinkas cave: HEINE 1987a; Kuiseb: • VOGEL 1987, ▼ VOGEL 1982, ○ VOGEL 1989, ▽ HEINE 1987a; Skelett-Küste: Flußtäler: • VOGEL 1987, VOGEL & RUST 1990; Pfannen: • VOGEL 1987, ▼ TELLER et al. 1990, ▽ HEINE, unveröff.; Sonstige: • HEINE 1982, 1987a, unveröff., VAN ZINDEREN BAKKER & MÜLLER 1987, SANDELOWSKY 1977, + BESLER 1980, ▼ RUSS et al. 1990, BREUNIG 1990, RUST & SCHMIDT 1981; Randstufenbereich: • BLÜMEL 1982, ▼ HÖVERMANN 1988, ▽ HEINE, unveröff.; Mitte: • HEINE 1982; SW-Kalahari: ▼ HÖVERMANN 1988, ▽ HEINE 1982 u. unveröff., ○ LANCASTER 1989; Süden: • HEINE 1982 u. unveröff.; Etoscha: • RUST 1985, ▼ HEINE 1982 u. unveröff.; Okavango; Makarikari: + NETTERBERG 1982, • HEINE, unveröff., ▼ HEINE 1987b, ○ COOKE & VERSTAPPEN 1984, COOKE 1984, SHAW 1986, SHAW & COOKE 1986, ▽ Sinter - COOKE 1984, SHAW & COOKE 1986.

Somit stellt sich die Frage, wie die durch Höhlensinter belegten Feuchtphasen chronostratigraphisch einzuordnen sind.

5.2 Afrika

Beobachtungen aus dem nordafrikanischen Trockenraum lassen vermuten, daß dort ebenfalls die aufgrund von ^{14}C -Daten in das Isotopenstadium 3 gestellte Pluvialzeit in Frage gestellt werden muß (J.C.FONTES & F.GASSE 1989). Anhand der $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Daten erscheint die nach der Früh-Holozän-Feuchtphase nächstältere Pluvialzeit in das Isotopenstadium 5 und/oder 6 zu datieren (J.EVIN 1990, J.C.FONTES et al. 1987, C.CAUSSE et al. 1989, M.TAIEB et al. 1987, K.KOWALSKI et al. 1989). Für die hyperaride Sahara wird – außer der frühholozänen Feuchtphase – eine Pluvialzeit auf 125 und 90 ka datiert (N.PETIT-MAIRE 1989). Eine Pluvialzeit während des Isotopenstadiums 3 wird nicht mehr angenommen. Somit ergeben sich für das aride Nordafrika gleiche Beobachtungen wie für die Namib. Ähnliche Beobachtungen machen G.A.BROOK et al. (1990) in Somalia.

Andererseits dokumentieren zahlreiche, vor allem palynologische Befunde aus Ost- und Zentralafrika relativ feuchte und kühle Klimaverhältnisse im Vergleich zu heute im Isotopenstadium 3. Der Übergang zu recht ariden und kühleren Bedingungen erfolgt – je nach Gebiet verschieden – zwischen 40 ka (z.B. J.PREUSS 1986, D.M.TAYLOR 1990), 30 ka (z.B. R.BONNEFILLE 1987) und 25 ka (z.B. A.VINCENS 1989). Eindeutige Hinweise auf extreme Pluvialzeiten mit Seebildung scheinen aber auch in Ostafrika auf die Pleistozän/Holozän-Wende, das Isotopenstadium 5 (und 6 ?) und wesentlich ältere Abschnitte des Quartärs beschränkt zu sein (M.TAIEB et al. 1987). In Ostafrika zeigen Seespiegelschwankungen (Tanganyika-See) seit 40 ka zwei hohe Stände vor 26 ka, und seither ist eine Korrelation der Seespiegelveränderungen mit dem globalen Meeresspiegel und Eisvolumen möglich, d.h. seit 26 ka sinkt der Spiegel, zwischen 22 und 13 ka ist er sehr niedrig und ab 13 ka steigt der Spiegel wieder an (in zwei Etappen ab 13 und ab 11 ka) (F.GASSE et al. 1989).

Es wird deutlich, daß in den extrem ariden Gebieten (Namib, Sahara) pluviale Phasen – wenn überhaupt – nur während der Isotopenstadien 1 und 5 auftraten (neben älteren Pluvialzeiten). In den wechselfeuchten Tropen (Ostafrika) und den äquatorialen Tropen (Kongobecken) kommen pluviale Verhältnisse auch im Isotopenstadium 3 vor, und zwar aufgrund relativ kühler und (noch) feuchter Klimaverhältnisse; das Niederschlag/Evapo-

Abb. 7: Radiokarbondaten (Namibia/Botswana) nach verschiedenen Quellen.
Radiocarbon dates (Namibia/Botswana) after different sources.

transpirations-Verhältnis ermöglicht in den tropischen feuchten und wechselfeuchten Gebieten pluviale Phasen im Isotopenstadium 3, während im Isotopenstadium 2 die Aridität zu groß wird, so daß pluviale Bedingungen nicht mehr auftreten.

In den Wüsten vermögen die verminderten Temperaturen im Isotopenstadium 3 bei den ohnehin ariden Verhältnissen nicht zu "pluvialen" Phasen als Folge des veränderten Niederschlag/Evapotranspirations-Verhältnisses zu führen.

6. Abschließende Bemerkungen

In extremen Wüsten – so scheint es heute – sind Klimaschwankungen kaum chronostratigraphisch exakt faßbar, wenn sie älter als 20 ka und damit mit der ^{14}C -Datierungsmethode nicht mehr zuverlässig datierbar sind. Die ^{14}C -, TL- und $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Datierungen lassen vermuten, daß zwischen 50 und 20 ka in der Namib keine pluviale Phase auftrat. Die $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Daten der Sinter der Namib deuten auf hygrische Schwankungen, die sich zur Zeit jedoch nicht genauer fassen lassen (evtl. um 150-180 ka und vor über 350 ka).

Beziehungen zwischen Paläoklima und Reliefentwicklung können daher für die Namib nur dann sinnvoll sein, wenn nicht versucht wird, einzelnen Klimaabschnitten bestimmte Prozesse und/oder Formen zuzuordnen, sondern wenn der gesamte Formenschatz der Namib mit der bekannten Klimageschichte in Verbindung gebracht wird. Die Großformen der Namib (Flächen = "unconformity surface", "planation surface", Große Randstufe) sind Zeugen eines tertiären/prätertiären, *nicht* wüstenhaften Klimas; die ariden Klimabedingungen seit dem Jungtertiär haben dieses Flächen- und Große Randstufenrelief z.T. stark, z.T. kaum umgewandelt. Jungtertiäre/quartäre Klimaschwankungen konnten die im ganzen aride Morphodynamik sowie den ariden Formenschatz (Dünen, Wüstenschluchten, Sand-schwemmebenen etc.) nicht nachhaltig gestalten. Vielmehr scheinen Veränderungen des morphodynamischen Geschehens von Anpassungen (i.S. von "thresholds", vgl. K.HEINE 1990a, K.MONTGOMERY 1989) an dynamisch metastabile Gleichgewichtszustände abhängig zu sein. Daher können Formen und Sedimente nicht mit bestimmten Klimabedingungen ursächlich in Beziehung gesetzt werden. Ausgenommen sind Bildungen der letzten ca. 25 ka, die jedoch den ariden Formenschatz der zentralen Namib nur geringfügig umgestaltet haben und – legt man einen anderen zeitlichen Maßstab zugrunde – zum ariden Formenschatz der Wüste gehören. Die Formen und Sedimente der zentralen Namib eignen sich daher nur sehr eingeschränkt für Paläoklimarekonstruktionen.

Danksagung

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Universitäten Saarbrücken, Bloemfontein und Regensburg und der Verein der Freunde der Universität Regensburg unterstützten meine Untersuchungen. Analysen führten aus: ^{14}C und U/Th – Professor Dr. M.A.Geyh und Dr. G.J.Hennig, TL – Dr. L.Zöller, Tonminerale – Professor Dr. H.Chamley, Prof. Dr. P.Rothe. In Namibia und Deutschland führte ich Diskussionen mit Prof. Dr. E.M.van Zinderen Bakker, Prof. Dr. J.-A.Coetzee, Dr. L.Diester-Haass u.a.. Zu den Höhlen der Namib führten mich zuerst G.Weigmann und C.Jaspers. Allen sage ich hiermit meinen Dank.

Literatur

BESLER,H.: Die Dünen-Namib: Entstehung und Dynamik eines Ergs. – In: Stuttgarter Geogr. Studien 96, Stuttgart 1980, S.419.

BLÜMEL,W.D.: Calcretes in Namibia and SE-Spain. Relations to substratum, soil formation and geomorphic factors. – In: Catena Suppl. 1, Braunschweig 1982, 67-82.

BONNEFILLE,R.: Évolution forestière et climatique au Burundi durant les quarante derniers milliers d'années. – In: C.R. Acad. Sci. Paris, t. 305, Serie II, Paris 1987, 1021-1026.

BOWLER,J.M. & R.J.WASSON: Glacial age environments of inland Australia. – In: J.C.VOGEL, ed., Late Cainozoic Palaeoclimates of the Southern Hemisphere, Rotterdam 1984, 183-208.

BREUNIG,P.: Die Galerie in der Höhle: Was wollen die Bilder sagen? Prähistorische Felsmalerei in Namibia. – In: Forschung – Mitteilungen der DFG 4, Bonn 1990, 16-19.

BROOK,G.A., D.A.BURNEY & J.B.COWART: Desert palaeoenvironmental data from cave speleothems with examples from the Chihuahuan, Somali-Chalbi, and Kalahari deserts. – In: Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 76 (3/4), Amsterdam 1990, 311-329.

BUCH,M.W.: Arbeitsbericht zum Forschungsprojekt "Geomorphodynamik im Gebiet der Etoscha-Pfanne, Namibia." – In: Geogr. Inst. Univ. Regensburg 1990, 25 S., 26 Abb., Anhang (unveröff.).

CARATINI,C. & C.TISSOT: Palynological study of Pleistocene sediment cores from Walvis Ridge. – In: Palaeoecology of Africa 15, Rotterdam 1982, S.227.

CAUSSE, C., et al.: Two high levels of continental waters in the southern Tunisian chotts at about 90 and 150 ka. – In: *Geology* 17, Boulder/Colorado 1989, 922-925.

CHARLES, C.D. & J.J. MORLEY: The paleoceanographic significance of the radiolarian *Didymocystis tetrathalamus* in eastern Cape Basin sediments. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 66 (1/2), Amsterdam 1988, 113-126.

COETZEE, J.A.: Climatic and biological changes in south-western Africa during the Late Cainozoic. – In: *Palaeoecology of Africa* 10, Rotterdam 1978, 13-29.

COOKE, H.J.: The evidence from northern Botswana of late Quaternary climatic change. – In: J.C. VOGEL, ed., *Late Cainozoic palaeoclimates of the southern hemisphere*, Rotterdam 1984, 265-278.

COOKE, H.J. & H.Th. VERSTAPPEN: The landforms of the western Makgadikgadi basin in northern Botswana, with a consideration of the chronology of the evolution of Lake Palaeo-Makgadikgadi. – In: *Z. Geomorph.* 28, Stuttgart 1984, 1-19.

COX, K.G.: The role of mantle plumes in the development of continental drainage patterns. – In: *Nature* 342 (6252), London 1989, 873-877.

DEACON, J.: Changes in the archaeological record in South Africa at 18 000 BP. – In: C. GAMBLE & O. SOFFER, *The world at 18 000 BP*, vol. 2 (Low latitudes), Unwin Hyman, Boston-Sydney-Wellington 1990, 170-188.

DIESTER-HAASS, L.: Sea-level changes, carbonate dissolution and history of the Benguela Current in the Oligocene-Miocene off Southwest Africa (DSDP Site 362, Leg 40). – In: *Marine Geology* 79, Amsterdam 1988, 213-242.

DIESTER-HAASS, L., et al.: Late Quaternary history of continental climate and the Benguela Current off South West Africa. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 65, Amsterdam 1988, 81-91.

DIESTER-HAASS, L., P.A. MEYERS & P. ROTHE: Light – dark cycles in opal-rich sediments near the Plio-Pleistocene boundary, DSDP Site 532, Walvis Ridge continental terrace. – In: *Marine Geology*, Amsterdam 1986, 1-23.

DIESTER-HAASS, L. & P. ROTHE: Plio-Pleistocene sedimentation on the Walvis Ridge, Southeast Atlantik (DSDP LEG 75, Site 532) – influence of surface currents, carbonate dissolution and climate. – In: *Marine Geology* 77, Amsterdam 1987, 53-85.

DORN, R.I.: A rock varnish interpretation of alluvial-fan development in Death Valley, California. – In: *Nat. Geogr. Res.* 4 (1), Washington 1988, 56-73.

EMBLEY, R.W. & J.J. MORLEY: Quaternary sedimentation and paleoenvironmental studies off Namibia (South-West Africa). – In: *Marine Geology* 36, Amsterdam 1980, 183-204.

EVIN, J.: Validity of the radiocarbon dates beyond 35,000 years B.P. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 80 (1), Amsterdam 1990, 71-78.

FONTES, J.C. & F. GASSE: On the ages of humid Holocene and Late Pleistocene phases in North Africa – Remarks on "Late Quaternary climatic reconstruction for the Maghreb (North Africa)" by P. Rognon. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 70, Amsterdam 1989, 393-398.

FONTES, J.Ch., et al.: Lacustrine sediments from Wadi El Akarit and Chott Fedjej (South Tunisia) since 140 000 BP (PALHYDAF Project Site I). – In: 4th European Union of Geosciences Meeting, Strasbourg 1987, Abstracts, S. 221.

GABRIEL, B., B. VOIGT & M.M. GHOD: Klima und Landschaft Nordsomalias im Quartär. – Erste Ergebnisse von Feldstudien. – In: *Eiszeitalter und Gegenwart* 39, Stuttgart 1989, 132-144.

GASSE, F., et al.: Water-level fluctuations of Lake Tanganyika in phase with oceanic changes during the last glaciation and deglaciation. – In: *Nature* 342 (6245), London 1989, 57-59.

GEYH, M.A. & G.J. HENNIG: Multiple dating of long flowstone profile. – In: *Radiocarbon* 28, New Haven 1986, 503-509.

GILCHRIST, A.R. & M.A. SUMMERFIELD: Differential denudation and flexural isostasy in formation of rifted-margin upwarps. – In: *Nature* 346 (6286), London 1990, 739-742.

HARTLEB, J.W.O.: The Langer Heinrich Uranium deposit: Southwest Africa/Namibia. – In: *Ore Geology Reviews* 3, Amsterdam 1988, 277-287.

HEINE, K.: Aride und pluviale Bedingungen während der letzten Kaltzeit in der Südwest-Kalahari (südliches Afrika). – In: *Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 38*, Stuttgart 1981, 1-37.

HEINE, K.: The main stages of the late Quaternary evolution of the Kalahari region, southern Africa. – In: *Palaeoecology of Africa* 15, Rotterdam 1982, 53-76.

HEINE, K.: Jungquartäre fluviale Geomorphodynamik in der Namib, Südwestafrika/Namibia. – In: *Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 66*, Stuttgart 1987a, 113-134.

HEINE, K.: Zum Alter jungquartärer Seespiegelschwankungen in der mittleren Kalahari, südliches Afrika. – In: *Palaeoecology of Africa* 18, Rotterdam 1987b, 73-101.

HEINE,K.: Southern African palaeoclimates 35-25 ka ago: A preliminary summary. – In: *Palaeoecology of Africa* 19, Rotterdam 1988, 305-315.

HEINE,K.: Klimaschwankungen und klimagenetische Geomorphologie am Beispiel der Namib. – In: *Berliner Geogr. Studien* 30, Berlin 1990a, 221-234.

HEINE,K.: Some observations concerning the age of the dunes in the western Kalahari and palaeoclimatic implications. – In: *Palaeoecology of Africa* 21, Rotterdam 1990b, 161-178.

HEINE,K. & M.A.GEYH: Radiocarbon dating of speleothems from the Rössing cave, Namib Desert, and palaeoclimatic implications. – In: J.C.VOGEL, ed., *Late Cainozoic Palaeoclimates of the southern hemisphere*, Rotterdam 1984, 465-470.

HOOGHIEMSTRA,H.: Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá, Colombia: A continuous record of the last 3.5 million years. – *Cramer Vaduz* 1984, 368 S.

HORIE,S. (Hrsg.): History of Lake Biwa. Its transition as discovered in an extremely long core of 1,400 m obtained in Lake Biwa. – *Inst. of Paleolimnology and Paleoenvironment on Lake Biwa*, Kyoto Univ. (Contribution No. 553), Kyoto, Japan 1987, 242 S.

HÖVERMANN,J.: Das System der klimatischen Geomorphologie auf landschaftskundlicher Grundlage. – In: *Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 56*, Stuttgart 1985, 143-153.

HÖVERMANN,J.: The Sahara, Kalahari and Namib deserts: A geomorphological comparison. – In: G.F. DARDIS & B.P. MOON, *Geomorphological studies in southern Africa*, Proc. Symp. on Geomorph. of southern Africa, Transkei, 8-11 April 1988, Balkema, Rotterdam 1988, 71-83.

HÜSER,K.: Die südwestafrikanische Randstufe. Grundsätzliche Probleme ihrer geomorphologischen Entwicklung. – In: *Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 74*, Stuttgart 1989, 95-110.

JAEGER,F.: Die Etoschpfanne. – In: *Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten*, Bd. XXXIV (1), Berlin 1926, 1-22.

KASTING,J.F.: Long-term stability of the earth's climate. – In: *Global & Planetary Change* 1, Amsterdam 1989, 83-95.

KING,G. & M.ELLIS: The origin of large local uplift in extensional regions. – In: *Nature* 348 (6303), London 1990, 689-693.

KORN,H. & H.MARTIN: The Pleistocene in Southwest Africa. – In: *Proc. 3rd Pan African Congr. Prehist. Livingstone*, London 1957, 14-22.

- KOWALSKI, K., et al.: A last Interglacial fauna from the eastern Sahara. – In: *Quat. Res.* 32 (3), New York 1989, 335-341.
- KUKLA, G.: Long continental records of climate – an introduction. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 72 (1/2), Amsterdam, 1989, 1-9.
- KUKLA, G. & Z. AN: Loess stratigraphy in central China. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 72 (1/2), Amsterdam 1989, 203-225.
- LANCASTER, N.: Late Quaternary palaeoenvironments in the southwestern Kalahari. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 70 (4), Amsterdam 1989, 367-376.
- LEG 130 SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY: Reading the ocean's diary. – In: *Nature* 346 (6280), London 1990, 111-112.
- MAASCH, K. A.: Statistical detection of the Mid-Pleistocene transition. – In: *Climate Dynamics* 2, Amsterdam 1988, 133-143.
- MARION, G. M.: Correlation between long-term pedogenic CaCO_3 formation rate and modern precipitation in deserts of the American Southwest. – In: *Quat. Res.* 32 (3), New York 1989, 291-295.
- MARTIN, H.: Paläomorphologische Formenelemente in den Landschaften Südwest-Afrikas. – In: *Geol. Rdsch.* 58, Stuttgart 1973, 121-128.
- MILLER, K. G., R. G. FAIRBANKS & G. S. MOUNTAIN: Tertiary oxygen isotope synthesis, sealevel history and continental margin erosion. – In: *Palaeoceanography* 2 (1), Amsterdam 1987, 1-19.
- MONTGOMERY, K.: Concepts of equilibrium and evolution in geomorphology: The model of branch systems. – In: *Progr. Phys. Geogr.* 13 (1), Sevenoaks 1989, 47-66.
- NETTERBERG, F.: Calcretes and their decalcification around Rundu, Okavangoland, South West Africa. – In: *Palaeoecology of Africa* 15, Rotterdam 1982, 159-169.
- OLLIER, C. D.: Outline of the geologic and geomorphic history of the central Namib Desert. – In: *Madoqua* 10, Windhoek 1977, 207-212.
- OLLIER, C. D.: Inselbergs of the Namib Desert. Processes and history. – In: *Z. Geomorph., Suppl.-Bd.* 31, Stuttgart 1978, 161-176.

PARKINGTON,J.: A view from the south: Southern Africa before, during, and after the Last Glacial Maximum. – In: C.GAMBLE & O.SOFFER, The world at 18 000 BP, vol. 2 (Low latitudes), Unwin Hyman, Boston-Sydney-Wellington 1990, 214-228.

PARTRIDGE,T.C. & R.R.MAUD: Geomorphic evolution of southern Africa since the Mesozoic. – In: S. Afr. J. Geol. 90 (2), Johannesburg 1987, 179-208.

PARTRIDGE,T.C., et al.: Absolute dating methods for the southern African Cainozoic. – In: S. Afr. Journ. Sci. 80, Johannesburg (u.a.) 1984, 394-400.

PETIT-MAIRE,N.: Interglacial environments in presently hyperarid Sahara: Palaeoclimatic implications. – In: M.LEINEN & M.SARNTHEIN (eds.), Paleoclimatology and paleometeorology: Modern and past patterns of global atmospheric transport, Kluwer 1989, 637-661.

PREUSS,J.: Die Klimaentwicklung in den äquatorialen Breiten Afrikas im Jungpleistozän. – In: Marburger Geogr. Schr. H. 100, Marburg/L. 1986, 132-148.

REPORT OF THE COSOD II: Report of the second conference on scientific ocean drilling, Strasbourg 6-8 July 1987. – European Science Foundation, Strasbourg 1987, 1-142.

ROBERT,C. & H.CHAMLEY: La kaolinite des sédiments est-atlantiques, témoin des climats et environnements cénozoïques. – In: C. R. Acad. Sc. Paris, t. 303, ser. II (17), Paris 1986, 1563-1568.

RUSS,J., et al.: Radiocarbon dating of prehistoric rock paintings by selective oxidation of organic carbon. – In: Nature 348 (6303), London 1990, 710-711.

RUST,U.: Über Konvergenzen im Wüstenrelief am Beispiel der südwestafrikanischen Namibwüste (Skelettküste und zentrale Namib). – In: Mitt. Geogr. Ges. München, Bd. 64, München 1979, 201-216.

RUST,U.: Die Entstehung der Etoschapfanne im Rahmen der Landschaftsentwicklung des Etoscha Nationalparks (nördliches Südwestafrika/Namibia). – In: Madoqua 14 (3), Windhoek 1985, 197-266.

RUST,U.: (Paläo-)Klima und Relief: Das Reliefgefüge der südwestafrikanischen Namibwüste (Kunene bis 270 s.B.). – In: Münchener Geogr. Abh., Reihe B, Bd. B7, München 1989, 159 S.

RUST,U. & H.H.SCHMIDT: Der Fragenkreis jungquartärer Klimaschwankungen im südwestafrikanischen Sektor des heute ariden südlichen Afrika. – In: Mitt. Geogr. Ges. München, Bd. 66, München 1981, 141-174.

SANDELOWSKY, B.H.: Mirabib – an archaeological study in the Namib. – In: Madoqua 10 (4), Windhoek 1977, 221-283.

SEELY, M. & B.H.SANDELOWSKY: Dating the regression of a river's end point. – In: S. Afr. Arch. Bull. Goodwin Ser. 2, Claremont/Cape 1974, 61-64.

SELBY, M.J., C.H.HENDY & M.K.SEELY: A late Quaternary lake in the central Namib Desert, southern Africa, and some implications. – In: Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 26, Amsterdam 1979, 37-41.

SHACKLETON, N.J., M.A.HALL & A.BOERSMA: Oxygen and carbon isotope data from Leg 74 foraminifers. – In: T.C. MOORE jr., P.D.RABINOWITZ et al., eds., Initial Reports of the DSDP, 74, U.S. Gov. Print. Off., Washington D.C. 1984, 599-612.

SHACKLEY, M.: An Acheulean industry with *Elephas recki* fauna from Namib IV, South West Africa (Namibia). – In: Nature 284, London 1980, 340-341.

SHACKLEY, M.: Namib IV and the Acheulean technocomplex in the central Namib Desert (South West Africa). – In: Palaeoecology of Africa 14, Rotterdam 1982, 151-158.

SHACKLEY, M.: Palaeolithic archaeology of the central Namib Desert. – Cimbebasia B. Mem. 6, Windhoek 1985, 84 S.

SHAW, P.A.: The palaeohydrology of the Okavango Delta. Some preliminary results. – In: Palaeoecology of Africa 17, Rotterdam 1986, 51-58.

SHAW, P.A. & H.J.COOKE: Geomorphic evidence for the late Quaternary palaeoclimates of the Middle Kalahari of northern Botswana. – In: Catena 13 (4), Braunschweig 1986, 349-359.

SUMMERFIELD, M.A.: Global tectonics and landform development. – In: Progr. Phys. Geogr. 12, Sevenoaks 1988, 389-404.

TAIEB, M., et al.: Paléohydrologie dans le rift d'Afrique orientale de 240 000 ans B.P. à l'actuel. – In: Géodynamique 2 (2), Paris 1987, 145-147.

TAYLOR, D.M.: Late Quaternary pollen records from two Uganda mires: Evidence for environmental change in the Rukiga Highlands of southwest Uganda. – In: Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 80, Amsterdam 1990, 283-300.

TELLER, J.T. & N.LANCASTER: Lacustrine sediments at Narabeb in the central Namib Desert, Namibia. – In: Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 56 (3/4), Amsterdam 1986, 177-195.

TELLER, J.T., N. RUTTER & N. LANCASTER: Sedimentology and paleohydrology of Late Quaternary lake deposits in the northern Namib sand sea, Namibia. – In: *Quat. Sci. Rev.* 9 (4), Oxford 1990, 343-364.

TELLER, J.T., et al.: Diatoms and other fossil remains in calcareous lacustrine sediments of the northern Namib sand sea, South West Africa/Namibia. – In: G.F. DARDIS & B.P. MOON, eds., *Geomorphological Studies in Southern Africa*, Balkema Rotterdam 1988, 159-174.

VAN CAMPO, E., et al.: Comparison of terrestrial and marine temperature estimates for the past 135 kyr off Southeast Africa: A test for GCM simulations of palaeoclimate. – In: *Nature* 348 (6298), London 1990, 209-212.

VAN ZINDEREN BAKKER, E.M.: Palynological evidence for late Cenozoic arid conditions along the Namibia coast from holes 532 and 530A, LEG 75, DSDP. – In: W.W. HAY, J.-C. SIBUET et al., eds., *Initial Reports of DSDP*, vol. LXXV, Washington (U.S. Government Print. Off.) 1984, 763-768.

VAN ZINDEREN BAKKER, E.M. & J.H. MERCER: Major late Cainozoic climatic events and palaeoenvironmental changes in Africa viewed in a world wide context. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 56 (3/4), Amsterdam 1986, 217-235.

VAN ZINDEREN BAKKER, E.M. & M. MÜLLER: Pollen studies in the Namib desert. – In: *Pollen and Spores* XXIX (2/3), Paris 1987, 185-206.

VINCENS, A.: Les forêts claires zambéziennes du bassin Sud-Tanganyika. Évolution entre 25 000 et 6000 ans B.P. – In: *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 308, Série II, Paris 1989, 809-814.

VOGEL, J.C.: The age of the Kuiseb river silt terrace at Homeb. – In: *Palaeoecology of Africa* 15, Rotterdam 1982, 201-209.

VOGEL, J.C.: Sesriem Canyon. – In: J.M. McGUIRE, ed., *Guide Book – Kalahari and Namib*, Intern. Symp. on Late Cainozoic palaeoclimates of the southern hemisphere, 6-14 Sept. 1983, Bernard Price Institute for Palaeontological Research, Witwatersrand University, Johannesburg 1983, S. 75.

VOGEL, J.C.: Chronological framework for palaeoclimatic events in the Namib. Final report on a project sponsored by the National Programme for Weather, Climate and Atmospheric Research. – In: *NPRL Research rep. CFIS 145 CSIR*, Pretoria 1987, 20 S.

VOGEL, J.C.: Evidence of past climatic change in the Namib Desert. – In: *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 70 (4), Amsterdam 1989, 355-366.

VOGEL, J.C. & U.RUST: Ein in der Kleinen Eiszeit (Little Ice Age) begrabener Wald in der nördlichen Namib. – In: Berliner Geogr. St. 30, Berlin 1990, 15-34.

VOGEL, J.C. & E.VISSER: Pretoria radiocarbon dates II. – In: Radiocarbon 23, New Haven 1981, 43-80.

WALKER, N.J.: Zimbabwe at 18 000 BP. – In: C.GAMBLE & O.SOFFER, The world at 18 000 BP, vol 2 (Low latitudes), Unwin Hyman, Boston-Sydney-Wellington 1990, 206-213.

WALKER, T.R.: Red color in dune sand. – In: E.D.McKEE, ed., A study of global sand seas, Geol. Surv. Prof. Pap. 1052, Washington 1979, 61-81.

WARD, J.D.: The Cenozoic succession in the Kuiseb Valley, central Namib Desert. – In: Geol. Survey SWA/Namibia, Memoir 9, Windhoek 1987, 124 S.

WARD, J.D.: Eolian, fluvial and pan (playa) facies of the Tertiary Tsondab Sandstone Formation in the central Namib Desert, Namibia. – In: Sedimentary Geology 55, Amsterdam 1988a, 143-162.

WARD, J.D.: On an interpretation of the Oswater Conglomerate Formation, Kuiseb Valley, Namib Desert. – In: Palaeoecology of Africa 19, Rotterdam 1988b, 119-125.

WESSELS, D.C.J. & D.R.J.VAN VUUREN: Landsat imagery – its possible use in mapping the distribution of major lichen communities in the Namib Desert, South West Africa. – In: Madoqua 14 (4), Windhoek 1986, 369-373.

WIENEKE, F.: Entwicklung und Differenzierung des Reliefs der Küste der zentralen Namib. – In: Würzburger Geogr. Arb. H. 43, Würzburg 1975, 111-134.

WIENEKE, F. & U.RUST: Zur relativen und absoluten Geochronologie der Reliefentwicklung an der Küste des mittleren Südwestafrika. – In: Eiszeitalter und Gegenwart 26, Öhringen 1975, 241-250.

WIENEKE, F. & U.RUST: Methodischer Ansatz, Techniken und Ergebnisse geomorphologischer Untersuchungen in der zentralen Namib (Südwestafrika). – In: Mitt. Basler Afrika Bibliographien 15, Basel 1976, 107-150.

WILKINSON, M.J.: The Tumas Sandstone Formation of the central Namib Desert. Palaeo-environmental implications. – In: Palaeoecology of Africa 19, Rotterdam 1988, 139-150.

Diskussion

G.FURRER (Zürich): (1) Ich muß Ihre Bemerkungen über die Radiokarbonmethode in ein anderes Licht stellen. Muscheln zu datieren, die die Vögel transportieren, ist immer gefährlich. (2) Ich unterstelle, da die Daten von Herrn Kollegen M.A.GEYH stammen, das ^{13}C -Korrektur bereitsteht, und daß man sie korrigieren kann. (3) Sie haben ein wunderschönes Beispiel gegeben, daß die Methode stimmt. Sie haben nämlich Stalagtiten gezeigt mit Daten zwischen 28 und 36 ka und haben das sehr abschlägig beurteilt. Die ^{14}C -Methode hilft uns nicht unbedingt, eine Form oder eine Höhle zu datieren, aber die ^{14}C -Methode hat über die Stalagtiten etwas ganz Hervorragendes datiert, nämlich eine Feuchtphase, die wir aus Europa kennen. Man darf die ^{14}C -Methode nicht überfordern, und man muß ganz genau wissen, was man datiert, und daß man in situ-Funde datiert, bei den Tropfsteinen haben Sie in situ-Funde! Ich beglückwünsche Sie zu diesen Zahlen!

– Zu (1): Wenn die Muscheln transportiert worden sind, sind sie im Eem transportiert, da sie im Profil einer marinen Terrasse liegen und von Sedimenten mit Gipskrusten überlagert werden. Das von mir bearbeitete Profil reichte vom Anstehenden bis zur Oberfläche der + 2 m-Terrasse, die dem Eem zugerechnet wird (worauf auch J.D.WARD 1989 in einem SASQUA-Vortrag hinwies). Zu (2): Die Feuchtphase im O-Isotopenstadium 3 habe ich in verschiedenen Arbeiten beschrieben (zuletzt in PALAEOECOLOGY OF AFRICA 19/1988, 305-315); schon vor 15 Jahren habe ich aufgrund meiner mexikanischen Forschungen darauf aufmerksam gemacht, daß das Stadium 3 eine besondere Zeit ist. Meine jüngsten Forschungen in Ecuador und Bolivien zeigen ebenfalls eine große Übereinstimmung mit den Vorstellungen aus Europa und dem nordafrikanischen Raum. Doch ich möchte folgendes herausstellen: Sinterbildung erfordert Niederschläge, Bodenbildung, Vegetation. In der Namib gibt es keinerlei Hinweise auf Bodenbildung und dichtere Vegetation im Stadium 3. Selbst in den Endsee-Gebieten zeigen sich keine entsprechenden Hinweise. Alle palynologischen Befunde sprechen gegen nachweisbare Vegetationsveränderungen für die Namib. Daher deute ich die ^{14}C -Daten heute folgendermaßen: Die Stalagmiten (Sinter) sind alt, und aufgrund von Tropfwasser hat eine Rekristallisation in den Sintern stattgefunden und zwar zu einer Zeit, die ich bisher nicht datieren konnte; die "Kontamination" kann im Stadium 3, aber auch während einer anderen Zeit oder während mehrerer anderer Zeiten erfolgt sein. Die relativ vernünftige Abfolge der Daten ließe sich ebenfalls durch einen Tropfwasser-Einfluß erklären, der von der Oberfläche nach innen abnimmt. Die ^{14}C -Daten zeigen mir, daß es im Jungquartär noch einmal (mehrmals?) etwas feuchter gewesen sein muß. Die U/Th- und TL-Daten belegen – zusammen mit geomorphologischen Beobachtungen – ein wesentlich höheres Alter der Sinterbildung.

G.FURRER (Zürich): Ich habe eine Anschlußfrage: Wie erklären Sie sich den Unterschied zwischen ^{14}C -, TL- und U/Th-Daten?

– Dieses Problem ist bisher noch nicht gelöst. Es scheint sich um einen systematischen Fehler zu handeln, der in beiden untersuchten Höhlen an allen Proben auftritt. Die Höhlen wurden viermal aufgesucht, es wurden sehr unterschiedliche Sinter für die Datierungen herangezogen. Die Untersuchungen sollen fortgesetzt werden. Die Höhlensande weisen eine erhöhte Radioaktivität auf; ihre natürliche TL ist praktisch in Sättigung, weshalb die TL-Alter nur als Mindestalter interpretiert werden können; damit widersprechen sie nicht den U/Th-Daten, belegen aber selbst innerhalb des 1- σ -Konfidenzintervalls ein signifikant höheres Alter als die meisten der bisher bekannten ^{14}C -Alter. 1 2 3

A.KESSLER (Freiburg): Was spricht denn eigentlich für die Annahme, den U/Th-Daten mehr zu glauben als den ~~^{14}C~~ -Daten? In beiden Methoden kann ein systematischer Fehler liegen. ^{14}C

– Zahlreiche Befunde sprechen für die höheren Alter der Sinterbildung: (1) Keine Hinweise auf Bodenbildung in der zentralen Namib; sie hätte auftreten müssen, wenn das Sinterwachstum im Stadium 3 erfolgt wäre, allein wegen der dann anzunehmenden hohen Niederschläge; (2) ESA- und MSA-Artefakte (Alter > 130 bis 30 ka) liegen z.T. in situ in unmittelbarer Höhlennähe, d.h. keine Umlagerung durch Regenwasser, Schichtfluten etc. Während der letzten 30 ka und/oder länger (?) hat sich wenig geomorphodynamisch abgespielt. (3) Die Höhlen liegen in Dolomitrippen, die sich einige Dekameter über die Namibfläche erheben; nur das Niederschlagswasser, das die Dolomitrippen befeuchtete, konnte zur Entstehung des Tropfwassers in den Höhlen beitragen; wird das Alter der Sinterbildungen dem Stadium 3 zugeordnet, bedeutet dies, daß im Stadium 3 ein semihumides bis humides Klima geherrscht haben mußte. Das ist aber ausgeschlossen. (4) Gipskrusten, die das Relief in der Umgebung der Höhlen (und nicht nur dort) überziehen, deuten auf ein hohes Alter der Oberflächenformen. Dies ergibt sich aus der unterschiedlich starken Ausbildung der Gipskrusten in Abhängigkeit von den marinen Terrassen der Namib, von denen die obersten einige Meter dick sein können (ca. + 90 m und + 50 m = Pliozän; ca. + 30 m = frühes Pleistozän) und eine Warmwasserfauna aufweisen, während die Dicke der Gipskrusten der mittelpleistozänen (ca. + 10 m), durch eine Kaltwasserfauna charakterisierten Terrassen nur noch gering ist. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß es an Hinweisen fehlt, die Sinterbildung in das Stadium 3 zu datieren.

A.KESSLER (Freiburg): Müssen wir nicht davon ausgehen, daß das Klima alternierend war, d.h. in manchen Gebieten war das Klima trockener, in anderen Gebieten feuchter, beispielsweise in der letzten Eiszeit? Auch können Übergangszeiten für Klimaphasen von Bedeutung gewesen sein. Wir neigen dazu, ein Paradigma zu erstellen und dieses dann auf die gesamte Erde anzuwenden.

– Hier stimme ich völlig mit Ihnen überein. Ich habe diese Fragen schon früher behandelt (z.B. C.RATHJENS-Kolloquium, Arb. Geogr. Inst. Univ. Saarland 29/1980); die Zeiten, in denen sich Klimaänderungen vollzogen, scheinen mehr oder weniger zeitgleich aufzutreten, doch die Richtung und das Ausmaß der Klimaänderungen kann sehr heterogen sein.

W.D.BLÜMEL (Stuttgart): Eine Ergänzung zum Problem des systematischen Fehlers: Meines Erachtens liegt dieser darin begründet, daß bei terrestrischen Karbonaten eine permanente Verjüngung durch Kontamination auftritt; daher darf man den Calcrete-Daten überhaupt nicht trauen, den Sinter-Daten vielleicht eher. Liegt aber bei den U/Th-Daten nicht ein Problem darin, daß mitgeschleppte Bestandteile (Sand, Tone, Oxyde etc.) datiert werden und nicht das Alter der Deposition des Sinters (und Sandes).

– Die Schliffe zeigen, daß die Sinter recht rein sind hinsichtlich der Tonbeimischungen. Unter der Annahme, daß die Sinter in sogenannten 'geschlossenen Systemen' gebildet wurden (s. M.A.GEYH & H.SCHLEICHER, Absolute Age Determination, Berlin 1990, S. 212 ff.), weisen die U/TH-Daten auf wesentlich höhere Alter als die ^{14}C -Daten, doch – wie bereits früher ausgeführt – die Problematik der Altersbestimmungen der Namib-Sinter erscheint mir noch keinesfalls gelöst.

H.LESER (Basel): In Verbindung mit den archäologischen Befunden erwähnten sie, daß es 'feuchter' war. Woraus schließen Sie das?

– B.H.SANDELOWSKY (1977) nimmt an, daß LSA-Werkzeuge nicht südlich des Kuiseb in der zentralen Namib auftreten, woraus auf eine extremere Aridität nach dem MSA geschlossen wird. Andererseits schließen die Archäologen aufgrund der MSA-Artefakte der Namib auf klimatisch etwas günstigere (= ökologisch feuchtere) Verhältnisse während des MSA.

H.LESER (Basel): Ich habe in der Kalahari viele archäologische Funde gemacht im Bereich der Terrassen von Auob, Nossob, Elefantenfluß etc. Dort habe ich unter einigen tausend Funden nur 2 oder 3 in situ-Funde. Häufig wird der Zirkelschluß vorgenommen, indem von den Archäologen aufgrund der geologisch-geomorphologischen Situation der Fundstellen, z.B. eine bestimmte Flußterrasse, auf das Alter der Artefakte geschlossen wird, während andererseits die Geomorphologen die "datierten" Artefakte benutzen, um das Alter der morphologischen Phänomene (Terrasse etc.) zu bestimmen. Auch ist zu bedenken, daß die Zeitspanne des MSA sehr groß ist und zudem ständig neu definiert wird. Ich stehe aufgrund meiner Erfahrungen aus der SW-Kalahari dem Aussagewert der Funde bezüglich der Alter sehr skeptisch gegenüber. Auch können anhand der Fundstellen-Typologie für jede Kultur 'Wanderungen' festgestellt werden, die sich offenbar mit Regen- und Trockenzeiten (i.S. von Dürrezeiten) vollzogen haben. Die Kulturen hatten eine fluktuierende Lebensweise

ähnlich den rezenten Buschleuten. Klimaaussagen sollten daher nicht auf archäologischen Funden basieren.

– Ich stimme Ihren Ausführungen grundsätzlich zu, und die jüngeren Arbeiten (z.B. M.SHACKLEY 1985) enthalten ebenfalls diese Überlegungen. Ich muß jedoch hinzufügen, daß sich meine Arbeiten in der SW-Kalahari nicht auf archäologische Argumentationen stützen. Wohl aber können Ergebnisse von Stratigraphien und deren Paläoklima-Interpretationen, die bei archäologischen Grabungen gemacht wurden, in meine Überlegungen einbezogen werden (z.B. der Fundort Mirabib in der Namib, vgl. B.H.SANDELOWSKY 1977).

K.HÜSER (Bayreuth): In Verbindung mit dem Bohrkern PC 16 haben Sie ausgeführt, daß in bestimmten Gebieten des südlichen Afrikas charakteristische Tonmineralgarnituren entstanden sind, die infolge der Abtragung und des Transports über den Oranje in den Atlantik gelangen, dort vom Benguela-Strom verfrachtet werden oder auch nicht, woraus auf Änderungen des Benguela-Stromes geschlossen wird. Aus dieser Änderung wiederum werden klimatische Änderungen abgeleitet.

– Das ist richtig, nur schließe ich *nicht* auf eine klimatische Änderung, sondern ich stelle lediglich fest, daß diese Änderungen in bestimmten Zeiten auftraten, so im Stadium 3. Da für das Stadium 3 im Kern PC 16 die äolische Zufuhr von Pflanzenmaterial und Tonaggregaten belegt wird, darf daraus die paläoklimatische Information "mehr Wind" entnommen werden. Auch weisen die Pflanzenreste, die in den äolisch aus der Namib ausgetragenen Sedimenten des Stadium 2 nicht mehr so reichlich auftreten, auf mehr Pflanzenwuchs im Stadium 3 (= ökologisch feuchter).

A.KESSLER (Freiburg): Ich warne vor der Benutzung von Begriffen wie "feuchter", "mehr Niederschlag" etc. Zuerst ist festzustellen, ob sich die Verdunstung reduziert hat durch die Temperatur oder nicht, d.h. wir müssen – wenn wir auf dem Niveau der heutigen Landschaftsanalyse argumentieren – sagen, ob die Evapotranspiration geringer geworden ist oder nicht. Mit "feuchter" ist überhaupt nichts ausgesagt; ist gemeint, daß "mehr Niederschlag" auftrat oder daß der Wasserhaushalt der Erdoberfläche anders geworden ist?

– In der Namib darf man eigentlich gar nicht von "feuchter" reden. Ich habe den Begriff "feuchter" beispielsweise mit "Sinterwachstum" in Zusammenhang gebracht.

U.RUST (München): Ich fand Ihren Vortrag sehr fair, denn Sie haben eine Vielzahl ^{14}C -Daten falsifiziert und dabei haben Sie Ihre eigenen Daten mit eingeschlossen. (1) Müssen wir alle ^{14}C -Daten, die in den letzten 15 Jahren für die Namib erarbeitet wurden,

aufgeben? (2) Meine zweite Frage zielt auf das Oberthema ab, nämlich die Beziehung zwischen Relief und Paläoklima. In dem synthetischen Profil vom Kuiseb zum Swakop zeige sich, daß zuerst Flächenbildung stattgefunden hat und dann Talbildung. In den Flächen sind mit Sedimenten ausgefüllte Täler (z.B. Tumas) angelegt, daher kann es sich hier nicht nur um Flächen gehandelt haben. Außerdem befinden sich im Gebiet der Höhlen voll entwickelte Gipskrusten, die daran erinnern, daß die Sinter sehr alt sind; kann es nicht sein, daß es sich bei den Flächen um sehr alte Bildungen handelt, die schon lange in Ruhe sind, über deren Bildungszeit aber nichts ausgesagt werden kann? (3) Zur Oswater Conglomerate Formation (i.S. von J.D.WARD): Wie können Sie in der Existenz einer einzigen Terrasse am Kuiseb den geomorphologischen Ausdruck einer multizyklischen Entwicklung erkennen?

– Zu (1): Alle an Calcretes gewonnenen ^{14}C -Daten sind fragwürdig. Ausnahme: Wenn belegt werden kann, daß andere Indizien für das Alter vorhanden sind, z.B. bei den Homeb Silts, die durch Holz *und* Kalkkonkretionen datiert sind; die Daten passen bei einer Korrektur der Kalkkonkretionsdaten von ± 1000 a zusammen. Jedes datierte Profil sollte kritisch durchdacht werden hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Datierungen. Paläoklimatische Folgerungen sollten dies berücksichtigen. Zu (2): Mit dem Profil soll aufgezeigt werden, daß bis zum Jungtertiär der Flächenbildungscharakter vorherrschte und daß die Fläche heterogen in der Anlage ist sowohl hinsichtlich der Formen als auch hinsichtlich des Alters. Stets muß die Frage nach dem Anfang und dem Ende der Flächenbildung gestellt werden, sowie die Frage: Was datieren wir eigentlich (vgl. K.HEINE, Z. Geomorph. Suppl.-Bd. 14, 1972, 113-137)? Auch soll das Profil zeigen, daß seit der Tsondeb-Sandstein-Bildung die zentrale Namib arid war (J.D.WARD 1988), daß andererseits aber die Höhlen entstanden sind, die ja als Karstphänomene einem Landschaftswasserhaushalt zugeschrieben werden müssen, der nicht aride, sondern humide Bedingungen anzeigt, m.a.W. die Höhlenbildung mag vielleicht im Miozän erfolgt sein; Höhlenbildung erscheint im gesamten Pleistozän und auch Pliozän ausgeschlossen! – Die Talbildung setzt vermutlich mit dem relativen Absinken des Meeresspiegels ein. Gleichzeitig werden die Flächen zwischen den zertalten Relieftteilen (Gramadulla-Relief) geringfügig weitergebildet, wobei nur – bei arideren Verhältnissen – gesteinsbedingte Abtragungsunterschiede auftreten (z.B. Dolomitrippen etc.). Zu (3): Die Oswater-Terrasse zeigt mir, daß sich zur Zeit der Bildung derselben das fluviatile System geändert hat. Es fällt auf, daß die einzige Terrassenbildung der Namibtäler von Kuiseb und Swakop eventuell mit der Zeit der Anpassung des geomorphodynamischen Systems an einen neuen Klimaabschnitt zusammenfällt, wie er beispielsweise im Pleistozän um 0,9 bis 0,7 Ma auftritt, als der ca. 41 ka-Rhythmus von dem ca. 100 ka-Rhythmus abgelöst wird; die Periodizität der rhythmischen Schwankungen wird von orbitalen Veränderungen der Erde (Präzessions-, Ekliptik- und Exzentrizitäts-Zyklen) beeinflusst. Die Oswater-Terrasse ist daher nicht Ausdruck einer multizyklischen Entwicklung, sondern geomorphologischer Ausdruck einer Veränderung (i.S. von 'Schwellenwerten'), die als eine erneute Anpassung an die Rahmenbedingungen des fluvialen Systems zu verstehen ist.

H.BESLER (Köln): Woraus wird abgeleitet, daß verschiedene Zyklen mit charakteristischen Frequenzen der Klimaschwankungen weltweit spürbar waren?

– Die letzten ca. 3 Ma dokumentieren eine auffällige Periodizität der Klimaschwankungen. Dies belegen alle Kurven der $\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)-, % CaCO_3 - und $\text{SST}_w/^\circ\text{C}$ -Werte sowie die statistische Analyse beispielsweise der Korngrößenverteilung pleistozäner Seesedimente, der aus Pollenstudien abgeleiteten monsunalen Aktivität, der Vegetationsänderungen in den kolumbianischen Anden oder der Löß-/Paläoböden-Sequenzen; aus diesen und zahlreichen anderen Untersuchungen geht hervor, daß vor über 2,5 Ma eine Periodizität der Klimaschwankungen mit einer Frequenz von vermutlich etwa 23 ka besteht; zwischen 2,5 und ca. 0,9 (0,7) Ma zeigt die Frequenz 41 ka und seither etwa 100 ka.

A.KESSLER (Freiburg): Die Kurven werden 'getuned', d.h. sie werden solange 'zurechtgebogen', bis sie zueinander passen.

G.FURRER (Freiburg): Die Frage der Periodizität ist noch nicht geklärt, wie ausführliche Diskussionen der Münchener Geophysiker zeigen. Es sind Zyklen.

K.HÜSER (Bayreuth): Handelt es sich hier nicht um Zirkelschlüsse, indem die Geowissenschaftler Kurven vorgeben, die die Klimatologen aufnehmen und die Geophysiker 'glättbügeln', und wir als moderne Geomorphologen übernehmen die Kurven von der Klimatologie. Die Kurven sollten nicht so interpretiert werden, wie es geschehen ist.

– Wir müssen doch festhalten, daß alle Kurven die klassischen Eiszeiten widerspiegeln mit vielen größeren und kleineren Schwankungen; erst durch die Glättung der Kurven erscheint der 100 ka- oder ein anderer Rhythmus.

A.KESSLER (Freiburg): Man sollte der jüngeren Generation folgendes weitergeben: Vor 40 Jahren war die geniale Idee mathematisch formuliert: Milankowitsch' Klimakurve. Die terrestrischen Paläoklimatologen suchten auf den Kontinenten, ob sie in das Schema von Milankowitsch hineinpaßten. Das hat eine Weile ganz gut funktioniert. Dann merkte man aber, daß alles doch nicht so ganz zusammenpaßte. Die Folge war ein wissenschaftspsychologisches Problem: Man verwarf Milankowitsch und ließ von der Vorstellung ab. Jetzt haben wir die erste Milankowitsch-Renaissance; man hat in den marinen Bohrkernen die Zyklen gefunden und rehabilitiert Milankowitsch. Ich möchte voraussagen, daß nun die Modellforscher wieder suchen, da sie die historische Entwicklung nicht kennen und nicht wissen, daß wir schon einmal gestrandet sind. Die Modellforscher halten die Zyklen von Milankowitsch als die letzte Weisheit. Dabei sollte bedacht werden, daß sich die Ozean-Bohrkerne nicht zeitlich fixieren lassen, d.h. man 'tuned' Zyklen auf die gleichen Perioden. Das ist eine völlig andere Denkweise.

– Man 'tuned', doch man versucht in jüngster Zeit immer mehr, die 'getuneten' Kurven abzusichern, beispielsweise mit vulkanischen, absolut datierten/datierbaren Einschaltungen, mit dem Paläomagnetismus etc. Daher sind die Ergebnisse nicht nur spekulativ, sondern enthalten doch viele Informationen. Zu Herrn Kessler: Was Sie zum Ausdruck bringen, habe ich immer wieder vertreten, daß man z.B. nicht mit dem LGM (= 18 ka) korrelieren kann. So will ich für die Namib zeigen, daß das LGM klimatisch überhaupt keine Auswirkungen gehabt hat. Ich setzte eben nicht die Sinterbildungen mit Kaltzeiten, Warmzeiten oder maximalen Seespiegelständen/Gletscherständen gleich. Gerade dagegen wende ich mich mit der Forderung, daß nur bei exakter Datierung korreliert werden kann. Was die Namib betrifft, so sehe ich dort einen Modellfall, denn die vielen kleinen Schwankungen der bekannten Klimakurven, die uns die marinen Geologen aufzwingen wollen, spiegeln sich in den Sedimenten, Formen und Böden der Namib nicht wider; im Gelände finde ich die Indizien für die differenzierten Klimakurven nicht. Das Dilemma ist, daß es in der Namib, einer Abtragungslandschaft seit vielen Ma, keine Beweise gibt.

ANGABEN ÜBER DEN AUTOR: Klaus HEINE; geb. 07.05.1940 in Wuppertal; Studium der Fächer Geographie, Geologie, Bodenkunde u.a. in München, Göttingen, Marburg und Bonn; 1968 Dr. rer. nat. Bonn; Habilitation Bonn 1973; ab 1973 Wiss. Rat u. Prof. Bonn; ab 1980 o. Prof. Saarbrücken und ab 1983 o. Prof. Regensburg. – Zahlreiche Forschungsaufenthalte in Mexiko, Südamerika (Ecuador, Bolivien), Botswana, Namibia, Südafrika. – Buchveröffentlichungen: "Fluß- und Talgeschichte im Raum Marburg" 1970 (= Bonner Geogr. Abh.); "Studien zur junquartären Glazialmorphologie mexikanischer Vulkane – mit einem Ausblick auf die Klimageschichte" 1975 (= Das Mexiko-Projekt der DFG, VII, Wiesbaden). – Ca. 90 Aufsätze und Abhandlungen in Fachzeitschriften zu den Forschungsgebieten Geomorphologie, Eiszeitenforschung, Paläoklima. – Herausgeber von "Palaeoecology of Africa and the Surrounding Islands" (Rotterdam/Brookfield 1988 ff.), Mitherausgeber von "Relief – Boden – Paläoklima" (Berlin/Stuttgart 1981 ff.), "Regensburger Geogr. Schriften" (Regensburg 1983 ff.)

Anschrift des Autors: Professor Dr. Klaus Heine, Geographisches Institut der Universität Regensburg, Postfach 397, D-8400 Regensburg, BRD.